
1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING

Handbuch

der

Wasserbaukunst

von

G. Hagen.

Dritte neu bearbeitete Auflage.

Erster Theil:

Die Quellen.

Erster Band mit 10 Kupfertafeln.

Berlin 1869.

Verlag von Ernst & Korn.

(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)

Brunnen, Wasserleitungen

und

Fundirungen.

Von

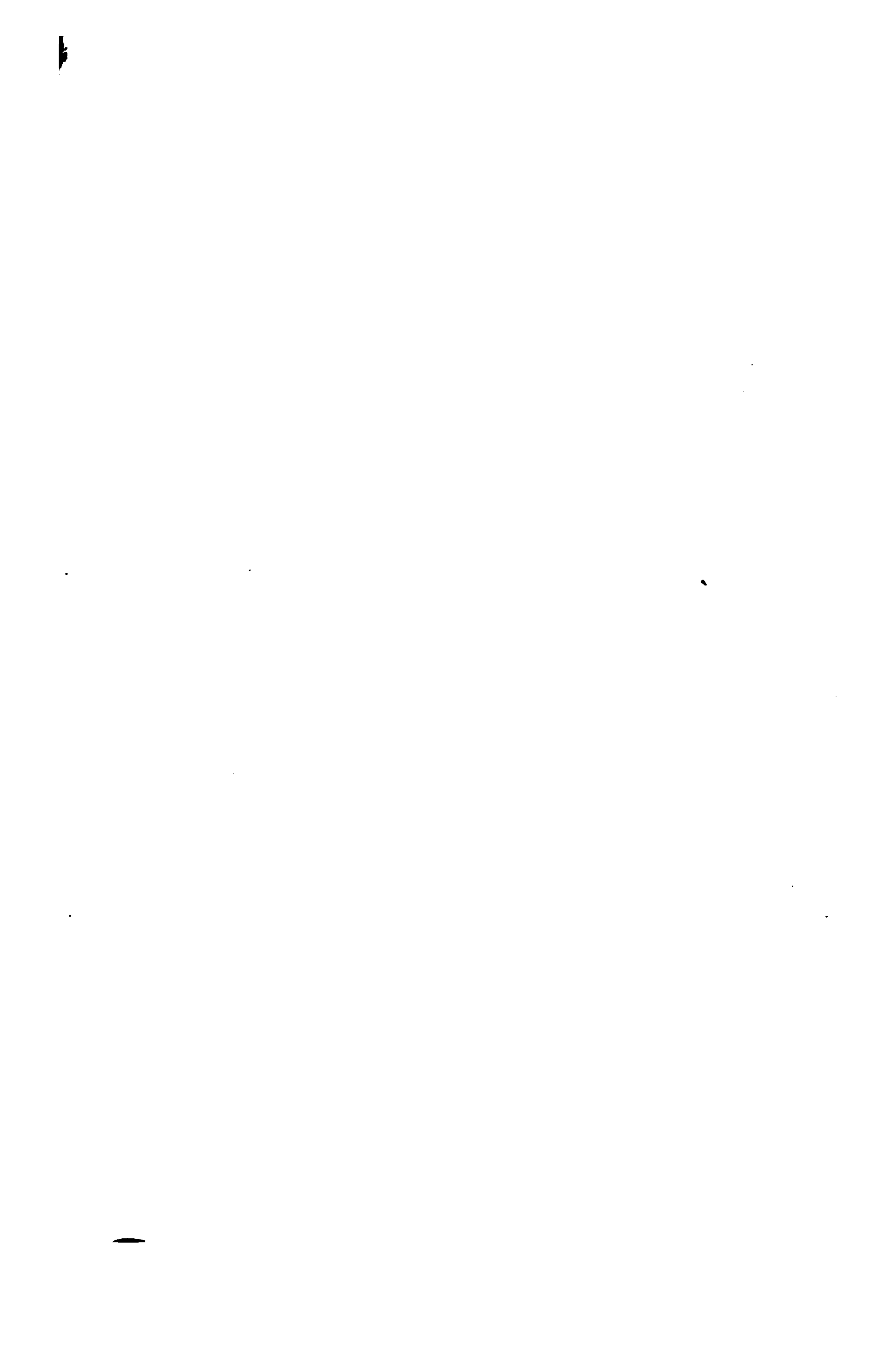
G. Hagen.

Dritte neu bearbeitete Auflage.

Erster Band.

Mit einem Atlas von 10 Kupfertafeln in Folio.

Berlin 1869.
Verlag von Ernst & Korn.
(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)



Vorrede
zur dritten Auflage.

Seit dem Erscheinen der ersten Ausgabe dieses Handbuches sind die Methoden der Anordnung und Ausführung der Wasserbauwerke so vervielfältigt worden, dafs von ihrer vollständigen Zusammenstellung gegenwärtig abgesehn werden mufste. Viele derselben, die weniger wichtig erschienen, habe ich daher entweder gar nicht, oder nur mit wenig Worten berührt, auch manche Mittheilungen unterdrückt, welche die beiden ersten Ausgaben enthielten. Dagegen sind diejenigen neuern Methoden hinzugefügt, welche sich bereits bewährt haben, oder günstige Erfolge mit grofser Wahrscheinlichkeit erwarten lassen.

Aufserdem habe ich mich auf diejenigen Gegenstände beschränkt, die unbedingt zum Wasserbau gehören, und habe daher in den vielfachen Beziehungen dieser Wissenschaft zu andern, engere Grenzen gezogen. Eine Ausnahme hiervon macht nur die ausführliche Beschreibung mancher mechanischen Vorrichtungen, die der Baumeister mit Hülfe gewöhnlicher Handwerker selbst zusammenstellen kann.

Bei dieser Beschränkung des Inhaltes wurden manche der früher mitgetheilten Figuren entbehrlich, und hierdurch erklärt es sich, dafs einige Nummern derselben fehlen, während die Nummern der Tafeln geändert sind.

Von besonderer Wichtigkeit für die weitere Entwickelung der Wasserbaukunst erschien der Hinweis auf den Zusammenhang der betreffenden physikalischen Erscheinungen. Ich habe mich daher bemüht, aus den in neuerer Zeit angestellten hieher gehörigen Beobachtungen die wahrscheinlichsten Resultate herzuleiten, und dadurch zu Gesetzen und Regeln zu gelangen, die mit gröfserer Sicherheit, als bisher, auf die zu erwartenden Erfolge schliefsen lassen.

Die Anordnung des ganzen Werkes ist die frühere geblieben, doch werden übereinstimmend mit dem vor wenig Jahren erschienenen dritten Theile auch die beiden ersten durch besondere Titel als selbstständige Werke bezeichnet und in mehrere Bände zerlegt werden. Der erste, überschrieben die Quellen, zerfällt in zwei, und der zweite, die Ströme*), wie schon früher, in drei Bände. Jedem Theile wird auch ein alphabetisches Sachregister beigefügt werden.

Es mag auffallen, dafs ich in dieser neuen Ausgabe noch das Rheinländische Fufsmaafs beibehalten habe, obwohl die Einführung des Meters im nördlichen Deutschlande bereits definitiv beschlossen ist. Ich mochte indessen nicht jenes Maafs, welches durch Bessel in grös-

*) Die Worte „und Canäle" waren ohne mein Vorwissen dem Titel des zweiten Theiles zugesetzt worden, und konnten auch aus der zweiten Ausgabe desselben nicht beseitigt werden, da diese nur wörtlicher Abdruck der ersten sein durfte.

serer Schärfe, als irgend ein andres, festgestellt ist, mit dem metrischen vertauschen, dessen Einheit gesetzlich nur durch ein gewisses Verhältnifs zu der ganz unsichern Toise von Peru bestimmt ist, und daher keineswegs die Genauigkeit besitzt, die heutiges Tages die Wissenschaft fordert. Man wird mir freilich entgegnen, dafs dieser Mangel an Schärfe bei Beschreibung von Bauwerken ohne Bedeutung sei, aber andrerseits ist das Meter bei uns noch nicht eingeführt, und da in Frankreich noch jetzt, also 75 Jahre nach der gesetzlichen Einführung des Meters, das frühere Fufsmaafs keineswegs vergessen ist, so durfte ich wohl voraussetzen, dafs so lange man dieses Lehrbuch benutzt, der Rheinländische Fufs bekannter bleiben wird, als das Meter gegenwärtig ist.

Berlin, im Mai 1869.

G. Hagen.

Vorrede
zur ersten Auflage.

Der vorliegende erste Theil des Handbuches der Wasserbaukunst enthält die Beschreibung derjenigen Anlagen, wodurch kleinere Wassermassen aufgefangen, geleitet, abgesperrt oder in ihren Wirkungen unschädlich gemacht werden; er behandelt also im Allgemeinen die Quellen. Die beiden folgenden Theile, zu denen die Materialien gröſstentheils schon gesammelt und geordnet sind, werden die Ströme und das Meer umfassen.

Die einzelnen Gegenstände sind in der Art vorgetragen, daſs zuerst der Zweck und die Wirksamkeit jeder hydrotechnischen Anlage näher erörtert und daraus die Bedingungen und Rücksichten hergeleitet werden, die man bei der Anordnung des Baues oder bei der Entwerfung des Projectes zu beobachten hat; sodann aber werden die verschiedenen Constructionsarten, soweit sie in jedem Falle angewendet sind, möglichst vollständig beschrieben.

Um die Wirkungen der Wasserbauwerke richtig zu beurtheilen, ist es nöthig, den Zusammenhang der dabei vorkommenden Erscheinungen aufzufassen. Die

Erfolge, die man herbeiführen will, und ebenso auch diejenigen, die zuweilen unerwartet eintreten, können zwar nur in den Gesetzen der Mechanik und in den physischen Eigenschaften der Körper ihre Begründung finden; man sucht aber meist vergeblich in der Mechanik und Physik die Aufklärung der Verhältnisse, die hier vorkommen. Manche Erscheinungen, die für den Wasserbau besonders wichtig sind, blieben bisher beinahe ganz unbeachtet, und bei andern hat man sich damit begnügt, gewisse algebraische Ausdrücke mit einigen wenigen Messungen ungefähr in Uebereinstimmung zu bringen. Auf solche Art sind die meisten sogenannten Theorien entstanden; allgemeine Gültigkeit kann man von ihnen eben so wenig erwarten, als sie eine solche wirklich zeigen, doch eben deshalb dürfen sie weder als unumstöfsliche Wahrheiten angesehn werden, durch deren Entdeckung jede weitere Untersuchung abgeschnitten wurde, noch auch liefern sie den Beweis, dafs eine gründliche Forschung in diesem Gebiete zu keinem sichern Resultate führt. Ihre Unhaltbarkeit ist die natürliche Folge ihrer Unvollständigkeit. Vor Allem fehlte es bisher an genauen und vielseitigen Beobachtungen, die einer umfassenden Theorie zum Grunde gelegt werden konnten; sodann aber geschah die Zusammenstellung und Benutzung der beobachteten Resultate auch gar zu willkürlich und keineswegs nach den bestimmten Methoden, welche die Mathematik auf ihrem gegenwärtigen Standpunkte für solche bezeichnet.

Die weitere Ausbildung des wissenschaftlichen Theiles der Wasserbaukunst steht mit der Praxis in sehr naher Beziehung, denn nur durch sie darf man diejenige Sicherheit in der Anordnung der Wasserbauwerke zu

erreichen hoffen, welche man so häufig vermifst und deren Mangel sich noch immer in der Unzulänglichkeit mancher Anlagen zu erkennen giebt. Die Ausfüllung dieser Lücke ist ohne eine kräftige Unterstützung von Seiten des Gouvernements gar nicht denkbar. Zunächst kommt es indessen darauf an, die Lücken bestimmt nachzuweisen und zu zeigen, ob und in welchem Falle man den Regeln und Formeln, die der Wasserbaumeister gegenwärtig benutzt, einige Gültigkeit beilegen darf; ich habe es versucht, diese Aufgabe zu lösen.

Die verschiedenen Constructionen, die man bei gleichartigen Anlagen wählen kann und an verschiedenen Orten auch wirklich zu wählen pflegt, sind zum Theil durch Localverhältnisse bedingt, zum Theil aber stehn sie sich an Zweckmäfsigkeit und Solidität auch keineswegs gleich; einzelne darunter verdienen ohne Zweifel eine allgemeinere Anwendung. Ich habe mich bemüht, sie möglichst vollständig zu sammeln, und soweit es geschehn konnte, auch die Data anzuführen, welche ein Urtheil über ihre Brauchbarkeit begründen. Indem die Einführung des Neuen und Fremden gewöhnlich Mifstrauen erregt, so wäre kaum zu erwähnen, dafs man dieses nur mit grofser Vorsicht versuchen darf. Dagegen mufs man aber auch nicht unbeachtet lassen, dafs eine Methode, die durch lange Praxis sich bereits bewährt hat, deshalb noch nicht unbedingt die beste ist, und wenn der Versuch, sie durch eine andere zu ersetzen, mifsglückt, so folgt daraus wieder noch nicht immer, dafs die neue Methode an sich unpraktisch war, denn auch durch Unvorsichtigkeit mifsräth Vieles.

Die ausführende Wasserbaukunst ist in der neueren Zeit hauptsächlich durch die vielfache Anwendung

von Maschinen sehr vervollkommnet worden. Die Prüfung und Zubereitung der Materialien, ihre Versetzung und Aufstellung, sowie auch die Untersuchung ihrer spätern Lage läfst sich zuweilen durch besondere Maschinen viel sicherer, schneller, und wenn die Operationen sich vielfach wiederholen, auch wohlfeiler bewirken, als dieses durch unmittelbare Handarbeit und durch gewöhnliche Werkzeuge möglich war. Die Maschinenlehre ist sonach ein wesentlicher Theil der Wasserbaukunst geworden, und wenn die Kenntnifs derselben im Allgemeinen auch vorausgesetzt werden mufste, so konnte die Beschreibung der hierher gehörigen Apparate doch um so weniger umgangen werden, als eine grofse Vorsicht und Ueberlegung bei ihrer Anordnung und Aufstellung unerläfsliche Bedingung ist.

Berlin, im December 1840.

G. Hagen.

Inhalts-Verzeichnifs
des ersten Bandes.

Seite

Abschnitt I.

Abschnitt II.

Abschnitt III.

Seite

Abschnitt IV.

Erster Abschnitt.

Atmosphärischer Niederschlag und Verdunstung.

§. 1.
Entstehung des Regens.

Verschiedene hydrotechnische Anlagen haben allein den Zweck, dasjenige Wasser zu sammeln oder abzuleiten, welches als Regen und Schnee auf die Erdoberfläche herabfällt. Schon aus diesem Grunde wird die Erwähnung einiger Beobachtungen über die Menge des atmosphärischen Niederschlages nicht überflüssig erscheinen, der Gegenstand gewinnt aber für den Wasserbaumeister noch an Wichtigkeit, insofern das Wasser, welches als Regen oder in andern Formen aus der Luft herabfällt, die alleinige Veranlassung zum Entstehn der meisten Quellen ist, und die Bäche, Flüsse und Ströme ihren Ursprung und ihre Speisung demselben verdanken.

Die Bäche und Flüsse nehmen jedoch nicht die ganze Wassermenge des atmosphärischen Niederschlages auf, da ein großser Theil desselben schon durch Verdunstung vom Erdboden verschwindet. Ist das Maaſs der letzteren, wie auch das des Niederschlages auf einer gegebenen Fläche bekannt, so kann man aus der Gröſse des Fluſsgebietes, das heiſst aus der Ausdehnung der Fläche, die dem Flusse das Wasser liefert, auf seine Reichhaltigkeit schlieſsen. Es zeigt sich freilich, daſs theils die Beobachtungen über die Menge des Niederschlages sehr abweichende Resultate geben, und theils auch die Beschaffenheit des Bodens einen groſsen Einfluſs auf die Bildung der Quellen ausübt, wenn aber keine directe Messung der Wassermenge eines Flusses möglich ist, so gewährt diese Methode doch wenigstens einigen Anhalt, und namentlich wird man sie benutzen müssen, wenn es darauf ankommt, die Verhältnisse unter gewissen Umständen zu beurtheilen, zu deren directer Beobachtung die passende Gelegenheit nicht abgewartet werden kann.

Die Ursache der Circulation des Wassers, wodurch dasselbe von sumpfigen Niederungen, von den Seen und selbst von dem Ocean zurück auf die höchsten Gebirge geführt, und über die ganze Oberfläche der Erde verbreitet wird, beruht in der Eigenschaft der Luft, eine gewisse Quantität Wasserdunst in sich aufzunehmen, die sie unter veränderten Umständen wieder ausstöfst. Je weniger Wassertheilchen die Luft enthält, um so begieriger saugt sie das Wasser auf, und um so stärker verdunstet daher eine von ihr berührte Wasserfläche. In dem Maafse, wie sich aber der Wasserdunst in der Luft anhäuft, vermindert sich auch ihre Fähigkeit, noch mehr Wassertheilchen aufzunehmen, und es tritt endlich eine vollständige Sättigung ein. Dieser Sättigungspunkt ist jedoch nicht constant, sondern von der Temperatur abhängig. Je wärmer die Luft ist, desto mehr Wasser kann sie aufnehmen.

Unter Voraussetzung der von Regnault ermittelten Spannungen des Wasserdampfes können in 1 Rheinländischem Cubikfufs atmosphärischer Luft unter dem mittleren Drucke von 29 Zoll Rheinl. bei verschiedenen Temperaturen die in der zweiten Spalte der nachstehenden Tabelle angegebene Anzahl Gran Wasser aufgenommen werden. Die dritte Spalte bezeichnet dagegen den Wassergehalt einer gleichfalls gesättigten Luftmasse, welche in der Temperatur des Gefrierpunktes 1 Cubikfufs mifst.

Temperatur nach Réaumur	Wassergehalt in Gran	
	in 1 Cubikfufs	in constanter Luftmasse
— 8°	1,76	1,69
— 4°	2,07	1,90
0°	2,48	2,48
+ 4°	2,98	3,04
+ 8°	3,62	3,76
+ 12°	4,42	4,67
+ 16°	5,41	5,81
+ 20°	6,63	7,25
+ 24°	8,11	9,02

Wird sonach eine mit Wasserdunst gesättigte Luftmasse erwärmt, so erhält sie von Neuem das Vermögen, noch mehr Wasser in sich aufzunehmen, wird sie dagegen abgekühlt, so stöfst sie einen Theil

des Wassers von sich, das sie bisher gebunden hatte. Letzteres scheidet alsdann als sichtbarer und feuchter Nebel oder als Wolke aus der bisher ganz durchsichtigen Luft aus, und indem die feinen Wassertheilchen sich nach und nach zu Tropfen verbinden, so fallen sie als Regen nieder.

Die vorstehende Tabelle zeigt noch, daſs bei gleichen Temperaturveränderungen der Sättigungspunkt sich nicht gleichmäſsig verändert, sondern daſs bei höherer Temperatur eine gewisse Aenderung derselben, wie etwa um 4 Grade, die Luft zur Aufnahme einer gröſseren Wassermenge fähig macht, als bei einer niedrigeren Temperatur. Hieraus folgt zunächst, daſs im Allgemeinen die atmosphärischen Niederschläge in heiſsen Zonen reichhaltiger sein müssen, als in kalten. Es ergiebt sich daraus aber ferner, daſs zur Bildung dieser Niederschläge keine fremdartige Veranlassung zur Abkühlung der Luft erforderlich ist, sondern daſs zwei mit Wasserdunst gesättigte Luftmassen von verschiedener Temperatur bei ihrer Verbindung jedesmal einen Theil des enthaltenen Wassers ausstoſsen, indem die mittlere Temperatur nicht mehr der mittleren Wassermenge entspricht, sondern immer einer kleinern, woher ein Theil derselben frei wird. Dem letzten Umstande scheinen die atmosphärischen Niederschläge vorzugsweise ihre Entstehung zu verdanken, und es darf nicht befremden, daſs dieselben so ungleichmäſsig über die Erdoberfläche vertheilt sind. Sobald warme, mit Wasserdunst gesättigte Luft sich abkühlt, so bildet sich der Regen, wenn dagegen die warme Luft nur wenig Wasser enthält und über eine stark erhitzte öde Fläche streicht, so erwärmt sie sich noch mehr und wird dadurch in den Stand gesetzt noch gröſsere Wassermassen in sich aufzunehmen. Begegnet sie alsdann einer kalten und sogar mit Wasser gesättigten Luftmasse, so kühlt sie sich zwar ab, aber das in der letzteren enthaltene Wasser wird nicht niedergeschlagen. So geschieht es, daſs die Trockenheit des Bodens, wie etwa auf ausgedehnten Sandflächen, die Bildung des Regens verhindert.

Man hat vielfach die Vermuthung ausgesprochen, daſs die Vegetation einen merkbaren Einfluſs auf die Niederschläge ausübt, und letztere geringer werden, sobald ausgedehnte Waldungen verschwinden. Einzelne Thatsachen bestätigen allerdings diese Auffassung, doch zeigen andere wieder das Gegentheil, und es scheint daher, daſs die Luftströmungen, die theils von allgemeinen physischen Ge-

setzen, theils auch von der Gestaltung des Landes im Ganzen bedingt werden, vorzugsweise die ungleichmäſsige Vertheilung des Regens veranlassen.

Daſs die Flüsse und Ströme bei zunehmender Boden-Cultur ihren Charakter auffallend verändern und während der Dürre viel weniger, nach starkem Regen aber und beim Schmelzen des Schnees viel mehr Wasser abführen, als in früherer Zeit, ist freilich nicht zu bezweifeln, doch rührt dieses davon her, daſs bei zunehmender Cultur der schnellere Abfluſs des Wassers durch Gräben und Drainirung künstlich befördert wird. Nach den Briefen des Kaisers Julian veränderte sich der Wasserstand der Seine innerhalb Paris im vierten Jahrhundert nicht bedeutend, und ihr Wasser blieb immer klar, woher es als gutes Trinkwasser galt. Jetzt dagegen erhebt sich der Strom zur Zeit der Anschwellungen bis 30 Fuſs über seinen niedrigsten Stand, und das Wasser ist stets so trübe, daſs es gar nicht mehr als Trinkwasser benutzt wird.*)

In einem heiſsen Klima und auf weit ausgedehnten kahlen Flächen kann die Verdunstung im Verhältnisse zum Niederschlage so zunehmen, daſs Wassermassen, die sich schon zu Strömen angesammelt hatten, beim Eintritt in groſse Niederungen oder in weite Landseen vollständig verschwinden. Die Seen dieser Art können also nicht überflieſsen, oder sie haben keinen Abfluſs nach dem Ocean. In unserm Klima ist das Eintreten ähnlicher Verhältnisse undenkbar, wenigstens können sie sich nur im kleinen Maaſsstabe zeigen.

Die verschiedenartigen Formen, in denen der atmosphärische Niederschlag sich zeigt, sind vorzugsweise Regen, Schnee und Hagel, und auf diese bezieht sich das vorstehend Gesagte. Der Thau, der bei niedriger Temperatur sich als Reif darstellt, gehört freilich auch hierher, doch ist er von jenen in sofern verschieden, als sein Eintreten und seine Reichhaltigkeit von der Oberfläche der Körper abhängt, an denen er sich zeigt. Wenn letztere in klaren Nächten die Wärme stark ausstrahlen, und sonach schnell erkalten, so kühlen sie auch die zunächst umliegende Luftschicht ab, und indem dadurch wieder Wassertheilchen frei werden, sammeln sich diese als Thautröpfchen, oder bei stärkerer Abkühlung bilden sie die feinen

*) Dausse, *de la pluie et de l'influence des forêts sur les cours d'eau. Annales des ponts et chaussées.* 1842. *II. pag.* 184.

Eiskrystalle, die man Reif nennt. Auf diese Bildung hat die Vegetation einen wesentlichen Einfluſs. Auf kahlem Boden bemerkt man keinen Thau, und eben so wenig in dichten Waldungen, wohl aber auf Wiesenflächen. Unter diesen Umständen bietet die Messung der jährlich niederschlagenden Thaumenge groſse Schwierigkeiten. Dalton schätzte ihre Höhe für England (wahrscheinlich viel zu hoch) auf 5 Zoll, zu Viviers wurde dagegen diese Höhe nur zu 2,9 Linien beobachtet. Für den vorliegenden Zweck ist der Umstand besonders wichtig, daſs der gröſste Theil des Thaues wieder durch Verdunstung entschwindet und nur selten ein Tropfen auf den Boden gelangt. Es darf daher diese Form des Niederschlages hier ganz unbeachtet bleiben.

§. 2.
Messung der Regenmenge.

Zur Bestimmung der Wassermenge, die als Regen niederfällt, dient der Regenmesser, auch Ombrometer oder Udometer genannt. Mit demselben kann auch der Hagel gemessen werden, wenn er geschmolzen ist. Der Schnee bietet dagegen einige Schwierigkeit, indem er bei seiner groſsen Beweglichkeit sich so verschiedenartig ablagert, daſs im Ombrometer leicht eine verhältniſsmäſsig zu geringe Quantität aufgefangen wird. Man miſst aber nicht unmittelbar sein Volum, sondern das des Wassers, nachdem er geschmolzen ist. Seine Dichtigkeit oder sein specifisches Gewicht ist nämlich sehr verschieden und variirt zwischen 0,04 und 0,50.

Der gewöhnliche Regenmesser (Taf. I. Fig. 1) besteht aus einem Kasten von 1 bis 4 Quadratfuſs Oberfläche, der mit einer niedrigen Seitenwand versehn und oben offen ist. Der Boden ist geneigt und über denselben flieſst das Wasser nach einer Röhre, die es in ein darunter gestelltes Gefäſs führt. Die Wassermenge wird entweder durch unmittelbares Ausmessen oder durch Abwiegen bestimmt. Auf diese Art erfährt man, wie viel Cubikzoll Wasser in den Kasten gefallen sind. Dividirt man diese Zahl durch die Oberfläche des Kastens, in Quadratzollen ausgedrückt, so ergiebt sich, wie hoch das beim Regen herabgefallene Wasser den Erdboden be-

decken würde, wenn derselbe horizontal, und zum Einsaugen des Wassers nicht fähig wäre. Diese Höhe ist das gewöhnliche Maafs des Regens.

Damit die Beobachtungen dieser Art hinreichend genau ausfallen, mufs zunächst für die waagrechte Aufstellung des Kastens, und zwar des obern Randes desselben gesorgt werden, weil sonst beim schrägen Herabfallen der Tropfen zu viel oder zu wenig Wasser aufgefangen würde. Ferner haftet nach dem Regen noch ein Theil des Wassers an den Wänden und auf dem Boden des Kastens, ohne in das Gefäfs zu fliefsen. Bei schwachem Regen kann es sogar geschehn, dafs die ganze Masse hier hängen bleibt, und durch die bald darauf erfolgende Verdunstung sich der Beobachtung entzieht. Durch Auswischen mit einem Schwamme, der vorher gewogen ist, kann man auch diese Wassermasse auffangen und bestimmen. Endlich bietet das untergestellte Gefäfs, wenn es eine passende Form hat, zwar nur eine geringe Wasseroberfläche dar, und die Verdunstung in demselben ist alsdann nicht bedeutend, nichts desto weniger kann letztere sehr grofs werden, wenn die Nachmessung erst nach längerer Zeit vorgenommen wird. Um diesem Mangel zu begegnen, hat man den Gebrauch von Apparaten vorgeschlagen, worin das einfliefsende Wasser ein Kippwerk in Bewegung setzt, und sich dadurch selbst registrirt, in ähnlicher Art, wie auf den Salinen die gehobene Soole gewöhnlich gemessen wird. Dafs durch dieses Mittel die Genauigkeit der Beobachtung verliert, bedarf kaum der Erwähnung, nichts desto weniger mag die Beschreibung einer Vorrichtung dieser Art dennoch hier mitgetheilt werden, weil dieselbe auch in andern Fällen, wie z. B. bei Wasserleitungen zuweilen Anwendung findet.

In Fig. 2 sind A und B zwei gleich grofse Kasten, deren jeder etwa 10 Cubikfufs fafst. Die Soole fliefst aus der Röhre L durch den Trichter R in einen oder den andern dieser Kasten, je nachdem der Trichter die in der Figur angedeutete Lage, oder die entgegengesetzte einnimmt. Dieser Trichter ist nämlich am Balancier CD befestigt und dreht sich mit demselben um die horizontale Achse K. Damit der Balancier nicht schwankt und jedesmal seine Stellung behält, wobei das Wasser über die Mittelwand fort nach der einen oder der andern Seite abfliefst, so liegt in jedem Arme des Balanciers eine eiserne Kugel E, C, von denen die äufsere, also in der Figur

die Kugel C, ein entschiedenes Uebergewicht bildet. Sobald der Kasten A beinahe bis zum Rande angefüllt ist, fängt das Wasser an, durch eine Seitenrinne in den kleinen Eimér N überzufliefsen, und füllt denselben sehr schnell an, obgleich er im Boden mit einer engen Oeffnung versehn ist. Dieser Eimer hängt am Ende des Balanciers, und wenn er beinahe gefüllt ist, so hebt er das Uebergewicht der Kugel C auf und verursacht dadurch die Drehung des Balanciers. Letzterer bewegt sich Anfangs langsam, aber sobald er die horizontale Lage überschreitet, so fangen auch die Kugeln C und E zu rollen an, und indem die letzte nach D gelangt, so stöfst der Balancier auf die Seitenwand des Kastens A auf, und nimmt diese Stellung mit Sicherheit ein, wodurch das Wasser nunmehr in den Kasten B geleitet und der leere Eimer M gehoben wird. Bei der Bewegung des Balanciers wird mittelst einer über die Rolle geführten Leine die Klappe P am Boden des Kastens A gehoben, und die darin befindliche Wassermasse fliefst aus. Auch der Eimer N entleert sich durch die in seinem Boden angebrachte kleine Oeffnung. Auf solche Art füllt sich abwechselnd der eine und der andere Kasten, und die beiden Sperrhaken, die vom Balancier nach dem Rade Q hinaufgehen, von denen der eine zieht und der andere schiebt, rücken bei jedem einzelnen Stofse des Balancier das Rad um einen Zahn und zwar immer in derselben Richtung weiter, woher der an der Achse befestigte Zeiger die Anzahl der vorgekommenen Abwechselungen bezeichnet. Durch Verstellung der Abflufsrinnen, welche das Wasser aus dem Kasten in die Eimer leiten, und durch andere Veränderungen, kann man leicht bewirken, dafs die gesammte Wassermasse, die jedesmal in einen Kasten fliefst, ein bestimmtes Volumen einnimmt.

Zur Messung der Regenmenge wendet man nicht leicht einen so complicirten Apparat an, vielmehr begnügt man sich für diesen Zweck mit einem kleinen Kipptroge Fig. 3, bei dem das Wasser jedesmal in das obere Reservoir fliefst, welches durch die Füllung selbst das Uebergewicht bildet, und dadurch die veränderte Stellung hervorbringt. Um die Anzahl der erfolgten Stöfse zu markiren, darf aber auch hier die Anbringung eines Räderwerks nicht fehlen. Es mufs dabei noch bemerkt werden, dafs Fig. 3, um die Aufstellung des Kipptroges zu verdeutlichen, zwar mit Fig. 1 in Verbindung gesetzt, jedoch in einem viel gröfseren Maafsstabe gezeichnet ist.

Auch andere selbst registrirende Apparate werden zuweilen benutzt. Auf unsern meteorologischen Stationen macht man aber keinen Gebrauch von denselben, vielmehr wird das aufgefangene Wasser in einer graduirten Glasröhre gemessen. Die hier benutzten Regenmesser sind in der obern Oeffnung 12 Pariser Zoll lang und breit. Die umgebenden Wände sind einige Zolle hoch senkrecht, alsdann aber unter 45 Grad gegen den Horizont geneigt. Aus diesem pyramidalen Körper tritt das Wasser durch eine ziemlich kleine Oeffnung in einen kupfernen Cylinder, der etwa einen halben Cubikfuſs faſst, und dessen Boden durch eine Kegelfläche in eine Röhre übergeht. Letztere ist durch einen Hahn geschlossen, und durch diesen kann man das Wasser in eine Glasröhre flieſsen lassen und messen. Die Theilung der letzteren ist in der Art gewählt, daſs man ohne weitere Reduction sogleich die Höhe des Niederschlages in Zehntheilen des Pariser Zolles abliest. Da der kupferne Cylinder bis auf die kleine Zufluſs-Oeffnung ganz geschlossen ist, so findet darin auch kein starker Luftwechsel statt, und sonach vermindert sich auch nicht merklich das darin befindliche Wasser durch Verdunstung.

Zum Auffangen des Schnees bedient man sich eines andern Gefäſses, welches sich unter der Oeffnung bis zum Querschnitte von 18 Zoll Seite erweitert, in seiner obern Oeffnung aber wieder nur 1 Pariser Quadratfuſs miſst. Bei dieser Form lagert sich der Schnee sicherer ab, und ist weniger der Gefahr ausgesetzt, vom Winde fortgeführt zu werden.

Beim Gebrauche des Regenmessers zeigt sich noch eine bedeutende Unsicherheit, insofern die Höhe, in welcher er aufgestellt ist, einen auffallenden Einfluſs auf das Resultat ausübt, und zwar findet man die Regenmenge um so kleiner, je gröſser diese Höhe ist. Dalton bemerkte schon, daſs auf einem 150 Fuſs hohen Thurme die Regenmenge im Sommer um ein Drittel und im Winter sogar um die Hälfte geringer war, als die, welche unten gemessen wurde. Eben so groſse Unterschiede hat man auch in York wahrgenommen, woselbst auf Veranlassung der *British Association* drei Regenmesser beobachtet wurden. Der erste stand auf einem ausgedehnten niedrigen Grasplatze im Garten des Museums, der zweite auf dem Dache des Gebäudes 43 Fuſs 8 Zoll über dem ersten, und der dritte auf einer Rüstung über den Zinnen des Thurmes 212 Fuſs 10 Zoll

über dem ersten Apparate. In den drei Jahren von 1832 bis 1835 betrug die Gesammthöhe des Niederschlages in dem ersten Regenmesser 65,43 in dem zweiten 52,17 und in dem dritten 38,97 Zoll. *)

Aehnliche Resultate haben auch die von 1818 bis 1837 auf der Terrasse und auf dem Hofe der Pariser Sternwarte angestellten Beobachtungen ergeben **). Der Höhenunterschied beider Stationen beträgt 89 Rheinl. Fuſs, und die Niederschläge maſsen durchschnittlich in Rheinl. Zollen

	in 1 Jahr	im Januar	im August
auf dem Hofe	21,88	1,45	1,81
auf der Terrasse . . .	19,18	1,22	1,68
Unterschied	2,70	0,23	0,13.

Um diesen Einfluſs der Höhenlage möglichst zu beseitigen, werden die Regenmesser auf unsern Stationen 8 Fuſs über den Erdboden gestellt. Dieses Maaſs ist mit Rücksicht auf die Bequemlichkeit beim Auffangen des Wassers gewählt worden.

Fragt man nach der Ursache dieser auffallenden Erscheinung, so deuten die einzelnen Messungen schon den groſsen Einfluſs des Windes an. Die Unterschiede sind jedesmal um so gröſser, je heftiger der Wind während des Regens ist, doch bleiben sie auch bei ruhiger Luft noch merklich. Die Ablenkung der Tropfen von der lothrechten Richtung, die offenbar wegen des heftigern Windes in der gröſseren Höhe auch bedeutender ist, kann natürlich das Phänomen nicht veranlassen, indem der horizontale Abstand der Tropfen durch die schräge Richtung ihrer Bewegung nicht verändert wird. Dagegen ist hierbei gewiſs der Umstand von groſser Wichtigkeit, daſs die Luft nicht mit aufgefangen wird. Indem sie dem Regenmesser ausweicht, so reiſst sie eine Masse Wasser mit sich, und führt dieses seitwärts vorbei. Diese Wirkung kann auch in dem Falle nicht ganz verschwinden, wenn der Wind aufhört, oder wenn die Bewegung der Luft für das Gefühl unmerklich wird, denn die feinen Wassertheilchen, die nicht sichtbar herabfallen, sondern noch schwebend sich langsam senken, weichen wieder dem Regenmesser aus, und selbst wenn der Luftstrom ganz aufhören sollte, so können sie nicht so vollständig von dem Regenmesser aufgenommen

*) *Transactions of the association for the year* 1835.

**) *Annales des ponts et chaussées.* 1842. *I. pag.* 187.

werden, als sie über dem Erdboden sich ansammeln, und hier ungestört niedersinken.

Hierzu kommt noch eine andere Ursache. Bei der Abkühlung durch den Regen werden nämlich die von der Luft eingesogenen Wassertheilchen bis zum Sättigungs-Punkte frei, und bilden einen feinen Nebel, der vielleicht nicht sichtbar ist, aber an den hindurchfallenden Tropfen haftet und dieselben vergrößert. Die Wirkung wird um so bedeutender, als die in der Luft schwebende Wassermasse das spezifische Gewicht der Luft vergrößert, also der Wassergehalt in der Nähe des Erbodens am größten ist.

Die vorstehend erwähnte Erscheinung bezieht sich allein auf den Fall, daß die verschiedenen Beobachtungen nahe in derselben Vertikale angestellt werden. Liegen die Beobachtungsorte dagegen meilenweit von einander entfernt, so ist die Regenmenge von andern Umständen abhängig. Nach einer Zusammenstellung*) einiger in England angestellten Messungen scheint die Regenmenge mit der Erhebung des Bodens zuzunehmen und etwa in der Höhe von 2000 Fuß über der See das Maximum zu erreichen, während sie in noch größerer Höhe wieder merklich geringer wird, was vielleicht davon herrührt, daß ein Theil der Wolken sich nicht so hoch erhebt.

§. 3.
Beobachtete Regenmengen.

Was die Resultate der vorstehend beschriebenen Messungen betrifft, so ergiebt sich schon aus dem Gesagten, daß die Regenmenge durch verschiedene locale Verhältnisse bedingt wird, und daher nicht überall dieselbe ist. Außerdem zeigen sich auch zwischen den an einem und demselben Orte angestellten Beobachtungen so große Differenzen, daß die in einem Jahre gefundene Regenmenge oft nur die Hälfte, zuweilen sogar nur den dritten Theil von der beträgt, die in einem andern Jahre eben daselbst gemessen wurde. Man kann daher nur aus lange fortgesetzten Beobachtungsreihen die durchschnittliche Menge des jährlichen Niederschlages eines Ortes ermit-

*) *The Civil-Engineer and Architect's Journal.* 1854. *pag.* 213.

teln, auch mufs man bei Vergleichung verschiedener Orte möglichst dieselben Jahrgänge zum Grunde legen. Seitdem im Jahre 1848 die meteorologischen Stationen in Preufsen und den angrenzenden Ländern unter Dove's Leitung eingerichtet sind, ist in dieser Beziehung bereits ein sehr schätzbares Material gesammelt worden, aus dem die nachstehenden Mittheilungen entnommen sind. *)

Die folgende erste Tabelle giebt die Höhe der jährlichen Niederschläge, in Rheinländischen Zollen ausgedrückt, für die 20 Jahre von 1848 bis 1867 an, wie solche in Tilsit, Königsberg, Stettin, Breslau, Frankfurt a. O., Berlin, Erfurt und Cöln gemessen wurden.

	Tilsit	Königsberg	Stettin	Breslau	Frankfurt a. O.	Berlin	Erfurt	Cöln
1848	17,8	24,1	18,8	18,0	20,4	23,0	24,1	28,7
1849	30,0	26,5	15,2	19,8	14,7	16,5	20,0	23,1
1850	27,6	28,9	19,9	23,4	23,3	23,8	21,5	23,9
1851	25,8	31,1	23,1	21,3	22,8	23,9	23,4	29,2
1852	30,4	22,7	18,8	14,4	22,6	24,0	20,2	27,2
1853	31,4	25,5	20,8	25,6	20,3	23,1	19,7	24,1
1854	23,5	27,4	19,9	34,2	26,2	24,0	20,8	27,5
1855	25,7	23,1	20,6	23,8	21,2	23,1	19,7	21,3
1856	19,1	24,7	22,5	16,7	24,2	18,0	18,9	15,3
1857	15,2	14,3	11,4	16,0	12,7	13,5	14,7	12,7
1858	17,4	12,7	14,4	22,7	20,3	16,8	19,3	21,3
1859	20,5	17,3	16,0	23,9	21,5	20,8	17,0	24,4
1860	23,5	21,2	16,4	23,8	21,8	25,0	22,7	35,1
1861	29,9	24,7	20,5	22,8	19,7	26,0	16,8	16,8
1862	24,2	18,4	21,3	19,9	18,5	18,5	25,0	25,6
1863	26,2	22,1	17,3	20,1	15,2	21,1	21,2	19,2
1864	24,9	26,7	17,2	17,0	18,4	20,8	17,4	16,0
1865	21,3	18,4	15,2	20,3	17,8	19,6	16,1	15,4
1866	37,0	23,4	21,4	21,2	20,5	—	17,4	22,5
1867	40,4	32,0	23,5	24,4	22,5	24,7	20,9	19,8
Mittel	25,6	23,3	18,7	21,5	20,2	21,4	19,8	22,5

Unter diesen Jahrgängen zeichnet sich 1857 durch besonders geringe, wie 1867 durch besonders starke Niederschläge aus. Im

*) Die letzte Publication ist im Jahre 1864 erfolgt in dem VI. Hefte der Preufsischen Statistik, betitelt Witterungs-Erscheinungen des nördlichen Deutschlands von H. W. Dove.

August 1866 ist aber die Beobachtung der Regenhöhe in Berlin unterblieben.

Die folgende Tabelle enthält die an einigen andern Stationen in Nord-Deutschland beobachteten mittleren Regenmengen, gleichfalls in Rheinländischen Zollen ausgedrückt, worin zugleich in der zweiten Spalte die Anzahl der Jahre angegeben ist, aus denen das Mittel genommen worden. Die letzten Jahrgänge von 1864 ab, konnten dabei jedoch nicht berücksichtigt werden.

Beobachtungs-Orte	Jahre	Zolle	Beobachtungs-Orte	Jahre	Zolle
Arys	16	19,2	Mühlhausen	12	15.5
Danzig	8	19,8	Salzwedel	15	24,1
Conitz	10	18,0	Heiligenstadt	15	24,1
Posen	13	19,0	Wernigerode	5	25,5
Cöslin	15	22,9	Brocken	4	49,1
Putbus	10	20,1	Clausthal	9	55,8
Wustrow	11	13,7	Lüneburg	10	23,0
Rostock	10	15,5	Jever	7	26,8
Schwerin	10	21,6	Emden	11	26,2
Lübeck	10	20,0	Münster	11	25,9
Kiel	13	24,3	Paderborn	12	26,4
Ratibor	15	22,2	Gütersloh	15	26,6
Görlitz	16	25,9	Cleve	15	29,6
Landskrone	7	24,5	Crefeld	16	25,4
Potsdam	15	20,7	Boppard	16	25,3
Torgau	16	22,5	Kreuznach	13	18,3
Dresden	10	22,2	Trier	14	26,4
Freiberg	14	24,6	Giefsen	11	25,0
Halle	13	19,2	Frankfurt a. M. . .	9	24,9
Gotha	12	23,5			

Es mögen hier noch einige Beobachtungen an verschiedenen Orten im südlichen Deutschlande, wie auch in andern Ländern und Erdtheilen hinzugefügt werden, die sich grofsentheils auf frühere Messungen beziehen.

Beobachtungs-Orte	Zolle	Beobachtungs-Orte	Zolle
Mannheim	21	Würzburg	14
Carlsruhe	25	Ulm	25
Stuttgart	27	Augsburg	36
Tübingen	24	Tegernsee	44

Beobachtungs-Orte	Zolle	Beobachtungs-Orte	Zolle
Regensburg	21	Oise in den Ardennen	25
Prag	15	Pontoise an d. Mündung der Oise und d. Seine	16
Wien	16	la Rochelle	25
Ofen	16	Poitiers	22
Trient	33	Mühlhausen im Elsaſs	30
Zürich	32	Strasburg	26
Bern	43	Metz	27
Lausanne	38	Cambray	17
Genf	30	Brüssel	17,9
St. Bernhard	59	Middelburg	25
Turin	25	Breda	25
Mailand	35	Dortrecht	39
Mantua	29	Rotterdam	21
Verona	35	Utrecht	23
Padua	35	Haag	26
Venedig	30	Amsterdam	24
Triest	32	Dover	42
Bologna	29	London	22
Rom	29	Bristol	21
Palermo	21	Liverpool	31
Lissabon	25	Manchester	32
Bordeaux	24	Lancaster	36
Pau (Pyreneen)	39	Kendal	49
Toulouse	24	Glasgow	20
Montpellier	30	Edinburg	22
Marseille	21	Carrickfergus in Irland	38
Algier	36	Copenhagen	17
Toulon	18	Lund	18
Nimes	24	Bergen	83
Joyeuse (im Département Ardèche)	48	Upsala	17
Niévre (ebeudaselbst)	58	Stockholm	19
Settons (ebendaselbst an der Quelle der Yonne)	60	Abo	24
im Thal der Yonne nimmt die Regenmenge ab, so daſs am Einfluſs in die Seine	20	Petersburg	17
Quelle der Seine	32	Bombay	73
Seine-Thal in der Champagne	16	Rio Janeiro	56
Paris	20,1	Guadeloupe	122
Mündung der Seine bei Fatouville	30	Havannah	86
		Charlestown	55
		New-Orleans	51
		Philadelphia	44
		Cincinnati	47
		Buffalo	39

Die grofsen Unterschiede, welche die vorstehende Tabelle nachweist, erklären sich zum Theil durch die localen Verhältnisse der Beobachtungs-Orte, die ein Begegnen verschiedener Luftströme mehr oder weniger begünstigen. Die meteorologischen Schriften von Kämtz, Schübler, Dove und Andern enthalten hierüber das Nähere. Hier dürfte nur noch darauf aufmerksam zu machen sein, dafs auf den höchsten Gebirgen, welche die Schneegrenze übersteigen, die Regenmenge wahrscheinlich noch bedeutender ist, insofern die vorüberstreichenden Luftmassen in ihrer Nähe sich viel stärker abkühlen und daher das darin enthaltene Wasser sich vollständiger ausscheidet. Die aus den Gletschern vortretenden Bäche bestätigen auch diese Vermuthung.

Die vorstehend nachgewiesenen Regenmengen sind keineswegs in dem ganzen Jahre gleichmäfsig vertheilt, vielmehr trifft im nördlichen Deutschlande, sowie auch meist in Frankreich der überwiegend gröfste Theil auf die Sommermonate. In folgender Zusammenstellung sind die auf jeden Monat treffenden Niederschläge für die bereits oben gewählten 8 Beobachtungs-Orte nach den 6 Jahrgängen von 1858 bis 1863 in Theilen des ganzen jährlichen Niederschlages angegeben.

	Tilsit	Königsberg	Stettin	Breslau	Frankfurt a. O.	Berlin	Erfurt	Cöln
Januar	0,051	0,066	0,053	0,051	0,056	0,065	0,040	0,070
Februar	0,056	0,061	0,061	0,058	0,063	0,064	0,051	0,062
März	0,047	0,053	0,050	0,047	0,060	0,058	0,054	0,066
April	0,064	0,042	0,077	0,052	0,074	0,077	0,097	0,082
Mai	0,070	0,066	0,092	0,082	0,106	0,095	0,113	0,093
Juni	0,123	0,103	0,121	0,104	0,117	0,125	0,120	0,101
Juli	0,128	0,100	0,126	0,165	0,149	0,143	0,162	0,107
August	0,121	0,126	0,141	0,185	0,112	0,100	0,099	0,113
September	0,094	0,126	0,073	0,097	0,066	0,062	0,076	0,078
October	0,093	0,100	0,073	0,048	0,060	0,067	0,081	0,080
November	0,084	0,088	0,073	0,053	0,075	0,070	0,062	0,069
December	0,069	0,069	0,060	0,058	0,062	0,074	0,045	0,079

Die mittleren relativen Werthe, sowie auch die auf jeden Monat treffenden absoluten Werthe, wenn die jährliche Regenmenge gleich 22 Zoll gesetzt wird, enthält die folgende Tabelle, darin sind aber noch die 5jährigen Beobachtungen von Niévre und zwar von den Jahren 1844 bis 1848, sowie auch die Beobachtungen von Algier

nach 10jährigen Messungen aufgenommen, und namentlich zeigen die letzten eine wesentlich andere Vertheilung, als in unserm Clima.

	Nördl. Deutschland		Nièvre		Algier	
	relat.	absol.	relat.	absol.	relat.	absol.
	Höhe		Höhe		Höhe	
		Zolle		Zolle		Zolle
Januar	0,056	1,23	0,077	4,47	0,135	4,89
Februar	0,060	1,32	0,089	5,15	0,157	5,67
März	0,055	1,21	0,086	5,00	0,084	3,02
April	0,071	1,56	0,118	6,85	0,093	3,38
Mai	0,089	1,96	0,053	3,12	0,047	1,68
Juni	0,114	2,51	0,073	4,24	0,008	0,28
Juli	0,135	2,97	0,061	3,53	0,000	0,006
August	0,125	2,75	0,087	5,05	0,008	0,29
September	0,084	1,85	0,063	3,69	0,035	1,27
October	0,075	1,65	0,114	6,63	0,083	2,99
November	0,072	1,58	0,087	5,05	0,164	5,92
December	0,064	1,41	0,092	5,35	0,186	6,71
	1,000	22,00	1,000	58,13	1,000	36,11

In Algier hört sonach in den Monaten Juni, Juli und August, und namentlich im Juli der Regen beinahe ganz auf, woher die übermäfsige und den Culturen so nachtheilige Dürre in den Sommermonaten sich erklärt, während die Niederschläge des ganzen Jahres reichlicher sind, als sie im nördlichen Deutschlande vorzukommen pflegen.

In den heifsen Zonen ist im Allgemeinen die Vertheilung des Regens viel ungleichmäfsiger, als in den gemäfsigten. So fällt in Havannah mehr als der vierte Theil des ganzen jährlichen Niederschlages während des Monats Juni herab, und nach den in Bombay angestellten vieljährigen Beobachtungen regnet es daselbst während sieben Monaten, nämlich vom November bis Mai, gar nicht, und die sehr grofse Regenmenge stürzt nur vom Juni bis September herab.

Für den Wasserbau ist noch die Frage von grofser Wichtigkeit, welche Wassermenge während eines und weniger auf einander folgenden Tage herabfällt. Diese Wassermenge ist im nördlichen Deutschland jedenfalls viel unbedeutender, als in den wärmeren Ge-

genden. So beobachtete man im Februar 1820 in Cayenne in 10 Stunden eine Regenmenge von $10\frac{1}{4}$ Zoll, und in 24 Tagen fielen 123 Zoll. Doch zeigen sich in Europa auch ähnliche Fälle. Am 9. October 1827 betrug der Niederschlag zu Joyeuse (Dep. de l'Ardêche) in 22 Stunden 29 Zoll 3 Linien. Am 25. October 1822 fielen zu Genua 30 Zoll und selbst im südwestlichen Deutschlande schlugen am 28. und 29. October 1820 in 36 Stunden $5\frac{1}{2}$ und $7\frac{1}{2}$ Zoll Regen nieder. Die in Berlin angestellten Beobachtungen zeigen, dafs fast in jedem Jahre an einzelnen Tagen bis 1 Zoll Regen, und zuweilen sogar bis 1,4 Zoll beobachtet ist. Die früheren Königsberger Beobachtungen (mitgetheilt in den Beiträgen zur Kunde Preufsens) geben zuweilen den täglichen Niederschlag auf mehr als $1\frac{1}{2}$ und am 11. August 1818 sogar zu $1\frac{3}{4}$ Zoll an.

§. 4.
Quantität der Verdunstung.

Wenn die Messung des Niederschlages schon in mancher Beziehung unsicher ist, so ist die der Verdunstung dieses noch in höherem Grade. Jenachdem das Gefäfs, worin man die Verdunstung beobachtet, der Sonne und dem Winde ausgesetzt, oder so gestellt wird, dafs es beiden entzogen bleibt, sind die Resultate so verschieden, dafs die ersteren oft das Drei- und Vierfache der letzteren betragen. Dazu kommt noch der Einflufs der Höhe des Wasserstandes, denn es zeigt sich, dafs die Verdunstung nicht nur von der Ausdehnung der Oberfläche, sondern auch von der Wassertiefe abhängt, und zwar wird sie gröfser, wenn die Tiefe zunimmt, vorausgesetzt, dafs nicht etwa das flachere Wasser sich stärker erwärmt und deshalb auch stärker verdunstet. Endlich zeigt sich noch eine neue Schwierigkeit, wenn man die Resultate dieser Beobachtungen auf die Bestimmung der Wassermasse anwenden will, welche sich in den Quellen und Flüssen ansammelt. Die Erdoberfläche, welche nämlich den Niederschlag aufgenommen hat, verdunstet nur so lange, als der mit der Luft in Berührung stehende Theil derselben noch feucht ist, nach erfolgter Austrocknung geschieht dieses aber nur in dem Maafse, als die Feuchtigkeit sich von unten heraufzieht. Sonach ist die ver-

dunstete Wassermenge in höhern und trocknen Gegenden ohne Vergleich viel geringer, als das Atmidometer sie angiebt, welches beständig mit Wasser gefüllt bleibt.

Das Atmidometer, oder der Apparat, womit die Verdunstung gemessen wird, besteht wieder in einem offenen Kasten von bekannter Grundfläche, bei dem man durch Nachwiegen oder Nachmessen die Höhe der Wasserschicht ermittelt, welche täglich daraus entweicht. Beim Gebrauche desselben kommt es besonders darauf an, es so zu stellen, dafs es der Sonne und dem Winde nicht zu stark ausgesetzt ist, sondern ungefähr nur in dem Maafse, wie durchschnittlich der Erdboden. Durch eine angebrachte Bedachung mufs man aber Regen und Schnee davon abhalten.

Die Anzahl der Beobachtungen dieser Art ist sehr beschränkt. Einige derselben mögen hier mitgetheilt werden, und zwar zunächst solche, die ohnfern der See, oder doch an Orten angestellt sind, welche zu den feuchteren gehören.

Orte.	Verdunstete Wassermengen.
la Rochelle	23,2 Zolle
London	23,8 -
Liverpool	35,7 -
Breda	23,2 -
Rotterdam	23,1 -
Stuttgart	22,9 -

Es stimmt für diese Orte die Verdunstung nahe mit dem Niederschlage überein, dagegen wird sie im Binnenlande gemeinhin gröfser. Sie beträgt

in Mannheim	73,0 Zolle
in Augsburg	60,0 -
in Bordeaux	59,1 -
in Marseille	85,8 -
in Poitiers	38,6 -
in Troyes	29,8 -

Die an drei verschiedenen Orten neben dem Canal von Bourgogne angestellten Beobachtungen, die einen Zeitraum von 6 Jahren umfafsten, ergaben dagegen durchschnittlich die Höhe der jährlich verdunsteten Wasserschicht nur gleich 22,4 Zoll, während die Höhe des Niederschlages in derselben Zeit 30,7 Zoll maafs. Dieselbe Er-

scheinung ist auch später an verschiedenen andern Orten in Frankreich beobachtet.

In der heifsen Zone ist die Verdunstung bedeutend stärker, und besonders wenn der Wassergehalt der Luft nur geringe ist und von dem Sättigungspunkte weit entfernt bleibt, also wenn der Regen nur selten, vielleicht auch nie vorkommt. Man hat beobachtet, dafs in Cumana jährlich 130 Zoll verdunsten, in den Steppen Africa's steigt dieses Maafs sogar wahrscheinlich auf 300 Zoll.

Die Verdunstung ist augenscheinlich nicht während des ganzen Jahres dieselbe. An einzelnen Orten hat man tägliche Beobachtungen angestellt, und daraus für die verschiedenen Monate die mittlere tägliche Verdunstung gefunden. In Montmorency ist dieses in den 40 Jahren von 1765—1804 geschehen, in Liverpool während 4 Jahren.

Mittlere tägliche Verdunstung.

	Montmorency.	Liverpool.
Januar	0,26 Linien	0,56 Linien
Februar	0,41 -	0,73 -
März	0,70 -	0,98 -
April	1,00 -	1,28 -
Mai	1,24 -	1,63 -
Juni	1,38 -	1,72 -
Juli	1,64 -	1,92 -
August	1,60 -	1,94 -
September	1,04 -	1,27 -
October	0,64 -	0,95 -
November	0,32 -	0,58 -
December	0,25 -	0,56 -
Durchschnittlich	0,877 Linien	0,173 Linien.

Plieninger in Stuttgart stellte sowol über die tägliche Verdunstung, wie auch über den täglichen Niederschlag Messungen an, und fand die nachstehenden Resultate, von denen die ersteren aus den 15jährigen Beobachtungen von 1834 bis 1848 und die letztere aus den 24jährigen von 1825 bis 1848 hergeleitet sind.

	mittlere Verdunstung	tägliche Niederschläge.
Januar . . .	0,19 Linien . . .	0,48 Linien
Februar . . .	0,31 - . . .	0,56 -
März	0,55 - . . .	0,61 -
April	0,86 - . . .	0,64 -
Mai	1,28 - . . .	0,83 -
Juni	1,35 - . . .	1,18 -
Juli	1,33 - . . .	0,98 -
August . . .	1,16 - . . .	0,98 -
September . .	0,76 - . . .	0,94 -
October . . .	0,44 - . . .	0,69 -
November . .	0,31 - . . .	0,78 -
December . .	0,21 - . . .	0,51 -
Durchschnittlich	0,736 Linien . . .	0,769 Linien.

Um für unsere Gegenden einigen Anhalt zu gewinnen, sind die in Berlin angestellten Beobachtungen für das Jahr 1833 in dieser Beziehung näher untersucht. Dieses Jahr ist gewählt, weil der Niederschlag in demselben ungefähr der Mittelzahl entspricht, und weil die Beobachtungen dieses Jahrganges noch etwas vollständiger, als die der andern sind. *) Nach den mitgetheilten Angaben, wobei jedoch 23 Tage fehlen, beträgt die Verdunstung im ganzen Jahr 26,0 Zoll. Von diesen treffen

		Anzahl der Beob. Tage.	mittlere tägl. Verdunstung.
auf den Januar . .	0,74 Zoll . .	31 . . .	0,29 Linien
- - Februar . .	0,82 - . .	28 . . .	0,35 -
- - März . . .	1,29 - . .	31 . . .	0,50 -
- - April . . .	2,40 - . .	30 . . .	0,96 -
- - Mai . . .	4,44 - . .	26 . . .	2,05 -
- - Juni . . .	5,32 - . .	29 . . .	2,21 -
- - Juli . . .	3,28 - . .	19 . . .	2,08 -
- - August . .	2,97 - . .	29 . . .	1,22 -
- - September .	1,08 - . .	30 . . .	0,43 -
- - October . .	2,09 - . .	30 . . .	0,84 -
- - November .	0,89 - . .	29 . . .	0,37 -
- - December .	0,70 - . .	30 . . .	0,28 -
	26,02 Zoll.		

*) Preufsische Staatszeitung für 1833.

Wenn es statthaft ist, aus diesem einzelnen, und noch dazu unvollständigen Jahrgange einen Schlufs zu ziehn, so wäre für den vorliegenden Zweck die Folgerung wichtig, dafs für die hiesige Gegend die Verdunstung in den Monaten Mai bis Juli am stärksten ist und alsdann durchschnittlich an jedem Tage etwa 2 Linien beträgt, dafs sie aber, wenn der Regen am seltensten wird, unter eine Linie herabsinkt.

Endlich mufs hier noch der Beobachtungen erwähnt werden, welche Dalton in der Nähe von Manchester anstellte, um zu ermitteln, in welchem Verhältnisse die auf den Erdboden herabfallende Wassermenge theils verdunstet, theils offen abfliefst und theils unterirdische Quellen bildet. *) Ein Gefäfs von verzinntem Eisenblech, 3 Fufs hoch und 10 Zoll weit, wurde sowohl nahe über seinem Boden, als auch unter dem obern Rande mit Oeffnungen und Abflufsröhren versehn. Um das Verstopfen der untern Oeffnung zu verhindern, befand sich über dem Boden eine Kiesschicht, worüber frische Erde geschüttet war. Dieses Gefäfs wurde so tief eingegraben, dafs die Oberfläche der Erde im Gefäfse so hoch als die des umgebenden Bodens lag. Die beiden Abflufsröhren wurden aber nach andern Gefäfsen geleitet, deren Inhalt man bequem untersuchen konnte. Zunächst wurde reichlich Wasser zugegossen, um die vollständige Tränkung der Erde hervorzubringen. Dieses Wasser flofs durch beide Oeffnungen ab. Alsdann blieb der Apparat nur demselben Einflufs der Atmosphäre, wie der umgebende Boden, ausgesetzt, und nach einigen Monaten fing man an, die ausfliefsenden Wassermengen zu messen, während ein danebenstehendes Ombrometer die Regenmenge angab. Diese Beobachtungen wurden während der drei Jahre 1796—1798 fortgesetzt, doch erlitten sie nach kurzer Zeit insofern eine Aenderung, als die Erde im Gefäfse sich setzte und der Abflufs durch die obere Oeffnung ganz aufhörte. Nach einem Jahr hatte sich im Gefäfse ein Rasen gebildet, welcher indessen auf die Verdunstung keinen Einflufs zu haben schien. Die Resultate waren durchschnittlich für die einzelnen Monate folgende:

---

*) Gilbert's Annalen. Band 15, S. 266 ff.

	Höhe des ausfliefsenden Wassers	Höhe des Niederschlages in dem Ombrometer	Differenz beider, oder Höhe der Verdunstung
Januar	1,45 Zoll	2,46 Zoll	1,01 Zoll
Februar	1,27 -	1,80 -	0,53 -
März	0,28 -	0,90 -	0,62 -
April	0,23 -	1,72 -	1,49 -
Mai	1,49 -	4,18 -	2,69 -
Juni	0,30 -	2,48 -	2,18 -
Juli	0,06 -	4,15 -	4,09 -
August	0,17 -	3,55 -	3,38 -
September	0,32 -	3,28 -	2,96 -
October	0,23 -	2,90 -	2,67 -
November	0,88 -	2,94 -	2,06 -
December	1,72 -	3,20 -	1,48 -
Summa	8,40 Zoll	33,56 Zoll	25,16 Zoll.

Von der ganzen Regenmenge verdunsteten also ungefähr drei Viertheile, während nur ein Viertheil abflofs, und zwar hörte dieser Abflufs oder die Speisung der Quellen in dem Sommer und Herbste beinahe ganz auf. Ein unmittelbar daneben aufgestelltes Atmidometer ergab den Werth der Verdunstung gleich 30 Zoll, während der beschriebene Apparat nur 25 Zoll dafür nachwies. Dieser Unterschied erklärt sich dadurch, dafs das Erdreich oft so trocken wurde, dafs seine Oberfläche nicht die Wassermenge enthielt, welche die Luft aufzunehmen fähig war.

§. 5.
Cisternen.

Da das Regen- und Schneewasser sich in ähnlicher Art aus der Luft ausscheidet, wie dieses im Helm der Destillirblase geschieht, so ist es sehr rein und eignet sich sonach vollständig zu den gewöhnlichen wirthschaftlichen Zwecken, und namentlich zur Zubereitung der Speisen und Getränke und zum Waschen. Aus diesem Grunde ist das Auffangen des Regenwassers in gröfserer oder geringerer Ausdehnung vielfach üblich. Wo andere reiche Quellen zu Gebote stehn, verwendet man indessen hierauf wenig Sorgfalt, und kaum wird daselbst irgend eine bauliche Einrichtung zu diesem Zwecke getroffen.

Wenn dagegen der Boden entweder kein Wasser giebt, auch die Zuleitung von Quellen schwierig ist, oder wenn der sumpfige und vielleicht mit Seewasser durchzogene Grund alle Brunnen mit unbrauchbarem Wasser speist, so erhält die Auffangung und Aufbewahrung des Regenwassers solche Wichtigkeit, dafs man bedeutende Anlagen zu diesem Zwecke macht. Dieses sind die Cisternen, die man, wenn sie nur das Wasser der Dachrinnen aufnehmen, auch wohl Regensärge zu nennen pflegt. Sie bestehn aus wasserdichten überwölbten Bassins, die so tief im Boden liegen, dafs weder der Frost, noch die Sommerwärme eindringt, und sind mit den nöthigen Vorrichtungen zur zweckmäfsigen Zuleitung und Entnehmung des Wassers, sowie zur Reinigung versehn. Insofern die Speisung der Cisternen von der Quantität des Niederschlages abhängt, und diese wieder in den verschiedenen Jahreszeiten sehr verschieden ist, während der Verbrauch des Wassers ziemlich gleichmäfsig erfolgt, so müssen die Cisternen den Bedarf von 3 bis 4 Monaten fassen können, und hieraus ergiebt sich sowohl die nöthige Gröfse derselben, als auch die erforderliche Ausdehnung der Oberfläche, die das Wasser auffängt. Es ist dabei jedoch nicht zu übersehn, dafs die aufgefangene Wassermenge etwas geringer ist, als die wirklich niedergeschlagene, und dieses namentlich, wenn man nicht nur Dachflächen, sondern auch gepflasterte Hofräume benutzt, weil alsdann eine merkliche Quantität sich schon durch die Fugen des Pflasters in den Boden zieht.

Nichts desto weniger ist die auf solche Art gewonnene Wassermenge noch sehr bedeutend, und in unserm Klima würde der Bedarf für die gewöhnlichen häuslichen Zwecke durch Cisternen vielfach gesichert werden können. Wenn die aufgefangene Wassermenge auch nur einem Niederschlage von 12 Zoll entspricht, oder jährlich von jedem Quadratfufs Oberfläche nur ein Cubikfufs Wasser in die Cisterne fliefst, während jeder Einwohner täglich $\frac{1}{4}$ Cubikfufs Wasser consumirt, was nach den spätern Mittheilungen für häusliche Zwecke gewöhnlich genügt, so würde eine Oberfläche von $1\frac{1}{4}$ Quadratruthe jedem Einwohner das nöthige Wasserquantum liefern. Nimmt man aber, wie Leslie gethan hat, den nothwendigen Bedarf eines Individuums nur zu $\frac{1}{8}$ Cubikfufs englisches Maafs oder sehr nahe 5 preufsische Quart an, so liefern schon die Dachflächen das nöthige Wasser.

Wasserdichtigkeit ist bei einer Cisterne das erste Erfordernifs,

und hierdurch wird zugleich die möglichste Solidität des Baues bedingt, denn wenn einzelne Theile sich setzen sollten, so würden die entstehenden Risse dem Wasser den Durchfluſs gestatten. Aus diesem Grunde pflegt man dem Gewölbe, welches die Decke der Cisterne bildet, keine weite Spannung zu geben, sondern diese im Maximum auf 10 bis 12 Fuſs zu beschränken, und dafür lieber, wenn eine gröſsere Breite erforderlich ist, mehrere überwölbte Räume, die unter sich in Verbindung stehn, neben einander anzulegen, wobei die Zwischenmauern die gemeinschaftlichen Widerlager bilden. Diese Anordnung stellt sich bei groſsen Cisternen auch gemeinhin als die wohlfeilste heraus.

Fig. 4 und 5 zeigen eine Cisterne von mittlerer Gröſse, welche durch die Rinnen eines geflasterten Hofes gespeist wird. *A* ist der Brunnen, in welchem das Wasser sich zunächst ansammelt. Derselbe ist oben mit einem Gitter verschlossen, um das Hineinfallen gröſserer Körper zu verhindern. Um Sand und andere schwere Stoffe, welche das Wasser mit sich führt, aufzufangen, steht er nicht an seinem Boden, sondern 1 bis 2 Fuſs darüber mit der Cisterne in Verbindung, und läſst sonach das Wasser in seiner Oberfläche abflieſsen. Damit er von Zeit zu Zeit gereinigt werden kann, muſs er wenigstens 3 Fuſs weit sein. Bei kleineren Cisternen, welche nur das Regenwasser der Dächer aufnehmen, pflegt man statt dieses Speisebrunnens ein kleines Bassin, der Seiger genannt, unter dem Abfallrohre anzubringen, welches einige Cubikfuſs Wasser faſst, und von dessen oberm Rande die Zuleitungsröhre nach der Cisterne führt. Jedenfalls wird das Wasser, bevor es in die Cisterne tritt, noch durch ein zweites enges Gitter oder Drahtnetz geleitet, damit auch kleine schwimmende Körper zurückgehalten werden. Das Saugerohr *B*, durch welches das Wasser aus der Cisterne gehoben wird, muſs möglichst weit von der Einfluſsöffnung entfernt sein, damit die feinern erdigen Stoffe nicht leicht zu demselben gelangen. Um durch die Pumpe alles Wasser ausheben und nöthigenfalls die Cisterne ganz trocken legen zu können, giebt man dem Boden eine schwache Neigung von $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{300}$ und bringt längs der Stirnmauer, welche die niedrigste Seite des Bodens begrenzt, einen flachen Graben *D* an.

Behufs Reinigung der Cisterne wird noch eine 3 Fuſs weite Einsteigeöffnung *C* angebracht, die am passendsten ihre Stelle neben der Pumpe findet, wodurch theils die Reparatur der letzteren und

theils die Reinigung des Bodens und die Herausschaffung des zusammengekehrten Niederschlages erleichtert wird. Diese Oeffnung ist mit einem Deckel geschlossen. Endlich pflegt man auch dafür zu sorgen, dafs die Cisterne nicht bis zum Scheitel des Gewölbes sich anfüllen, und dadurch das letztere einem starken Drucke aussetzen kann. Zu diesem Zwecke geht ein Ableitungsrohr *E* entweder von der Cisterne selbst, oder noch besser von dem Speisebrunnen aus nach einer tiefern Stelle des Hofes.

Ueber die Construction der Cisterne ist wenig zu bemerken. Um das Durchdringen des Wassers durch die Mauern zu verhindern, müssen letztere aus hartgebrannten Steinen in gutem hydraulischem Mörtel ausgeführt werden. Aufserdem wird der Boden gewöhnlich mit 3 Schichten flach gelegter Ziegel bedeckt, und zwar wenn der Baugrund fester Kies ist, kann man, wie die Figur andeutet, die untere dieser Schichten unmittelbar auf den sorgfältig geebneten Boden legen. Die Fugen derselben werden mit einem dünnflüssigen hydraulischen Mörtel ausgegossen, die zweite und dritte Schicht, die mit der ersten und unter sich einen guten Verband bilden müssen, legt man in ein Mörtelbette, und sorgt dafür, dafs auch hier die Stofsfugen nicht offen bleiben. Wenn dagegen der Baugrund einiges Setzen befürchten läfst, so mufs der Boden der Cisterne eine gröfsere Stärke erhalten. Bei der Cisterne zu Charlemont, die Bélidor *) beschreibt, bestand derselbe aus einem drei Fufs starken Mauerwerk, worüber jene drei Ziegelschichten noch gelegt wurden.

Nachdem das gesammte Mauerwerk der Cisterne mehrere Monate gestanden hat, und theils gehörig ausgetrocknet ist, theils aber sich vollständig gesetzt hat, so wird gemeinhin die ganze innere Oberfläche der Cisterne und des Brunnens, am Boden, an den Wänden und der gewölbten Decke, und ebenso auch von aufsen die flache Abdachung über dem Gewölbe mit einer Lage von sorgfältig zubereitetem und schnell bindendem hydraulischen Mörtel 1 bis 1½ Zoll hoch überzogen. Damit dieser Ueberzug gut haftet, müssen vorher die sämmtlichen Fugen mit einem eisernen Haken etwa einen Zoll tief geöffnet und das Mauerwerk stark benetzt werden. Der Mörtel wird in kleinen Massen aufgetragen und mit einer schmalen flach convexen Kelle fest eingestrichen. Zur Ausfüllung der Unebenheiten,

---

*) *Science des Ingénieurs.* Buch IV. Cap. 12.

sowie der feinen Risse, welche sich nach einigen Tagen zeigen, wird eine zweite, jedoch viel dünnere Lage desselben Mörtels aufgebracht und gerieben, bis sie erhärtet. Dieses Verfahren mufs so lange von Tage zu Tage wiederholt werden, bis keine Risse mehr zum Vorschein kommen. Die Quantität des aufgetragenen Mörtels mufs aber, sobald die Risse feiner werden, auch immer abnehmen, so dafs der dünne Mörtel zuletzt nur mit einem Pinsel aufgestrichen wird, doch wird das Einreiben auch alsdann noch fortgesetzt. Bei Anfertigung des Mörtelüberzuges über der äufseren Abdachung mufs man durch Ueberdeckung mit Stroh das zu schnelle Austrocknen verhindern und an sehr heifsen Tagen die Arbeit ganz einstellen. Endlich ist noch zu erwähnen, dafs die Abdachung später gewöhnlich mit Kies beschüttet wird, um das Ansammeln des Wassers darüber zu verhindern.

Wenn der Ueberzug aus gewöhnlichem Mörtel besteht, den man aus fettem Kalke bereitet hat, so darf man die Cisterne nicht früher benutzen, als bis der letztere sich mit Kohlensäure gesättigt hat. Wartet man diesen Zeitpunkt nicht ab, so löst sich zunächst der Kalk im Wasser der Cisterne auf, und verdirbt dasselbe, worauf nach und nach die Mauern undicht werden. Bei einer neben Beaumont an der Oise ausgeführten Cisterne war diese Vorsicht unbeachtet geblieben, und man bemerkte bald, dafs das Wasser in derselben sich in Kalkwasser verwandelte. D'Arcet liefs die Cisterne entleeren, möglichst austrocknen, und am Boden mehrere Feuerstellen durch Aufschütten von Asche und Einfassen mit Ziegeln einrichten. Hierin wurden alle Tage grofse Massen Holzkohlen verbrannt, während in der Nacht die frische Luft hinzutrat. Nach acht Tagen war der Ueberzug schon in kohlensauren Kalk verwandelt, doch setzte man das Verbrennen der Kohlen noch drei Tage fort. Alsdann wurde das Wasser hineingelassen, das sich auch vollständig rein erhielt.

Ist der Untergrund sehr wasserhaltig, so pflegt man denselben mit einer starken Thonschicht zu überdecken, die fest angestampft wird, und den Boden der Cisterne trägt. Nicht selten werden auch die Seitenmauern der letzteren in solchem Falle mit einem Thonschlage umgeben.

Die sehr grofsen und zum Theil mit auffallendem Luxus ausgeführten alten Cisternen in Constantinopel scheinen nicht sowol zum Auffangen des Regenwassers, als vielmehr desjenigen Wassers be-

stimmt gewesen zu sein, welches durch die Aquaducte vor dem Eintritt der trocknen Jahreszeit aus den Umgebungen der Stadt zugeführt wurde. *)

Als eine besondere Art von Cisternen verdienen noch die Brunnen in Venedig erwähnt zu werden. Der niedrige, vom Seewasser durchzogene Boden giebt kein brauchbares Wasser, und die weite Entfernung des festen Landes von nahe einer Meile erlaubte nicht eine Wasserleitung von dorther einzurichten. Der Bedarf wurde also zum Theil in kleinen Fahrzeugen, die man in der Brenta füllte, beigeschafft, doch waren diese keineswegs so zweckmäfsig eingerichtet, wie jene, welche von der Vechte aus das Wasser nach Amsterdam bringen. Bei den letzten ist nämlich der Wasserraum vollständig abgeschlossen und verdeckt, und wird durch Klappen im Boden gefüllt, während mehrere Pumpen dazu dienen, das Wasser bequem und ohne Verunreinigung zu heben. In Venedig war diese, durch Fahrzeuge herbeigeführte Wassermasse nur unbedeutend gegen die, welche durch Auffangen des Regenwassers angesammelt wurde, und hierzu dienten eben die erwähnten Brunnen. Dieselben werden nicht nur durch den auf die Dächer niederschlagenden Regen gespeist, sondern auch durch das Wasser von den Strafsen und sogar durch Spühligt, das gewöhnlich in die Rinnen neben den Brunnen gegossen wird. Sie sind daher mit einer Vorrichtung zum Filtriren versehn, und dieser Umstand unterscheidet sie eben von den gewöhnlichen Cisternen. Es mufs aber noch daran erinnert werden, dafs das Sammelwasser von den Strafsen in Venedig nicht in der Art verunreinigt ist, wie in andern Städten, da es hier keine Pferde giebt. Die Einrichtung dieser Brunnen zeigt Fig. 6 im Durchschnitte. Man hebt die Baugrube so tief aus, wie dieses wegen des Wasserzudranges möglich ist, und mindestens bis zu den fest abgelagerten und bereits stark comprimirten Erdschichten, die man in einer Tiefe von 10 Fufs vorfindet. Die Weite ist gleichfalls sehr verschieden, je nachdem man gröfsere oder kleinere Wassermengen darin auffangen will. Der Grund wird mit einer etwa 1 Fufs hohen Lage fetten Thones sorgfältig ausgestampft und darüber ein wasserdichter Boden von gebrannnten Steinen ausgeführt, der zugleich das Fundament der darauf stehenden Mauern bildet. Die äufsere dieser

*) Wiener allgemeine Bauzeitung 1853. S. 56.

Mauern, welche entweder einen kreisförmigen, oder einen quadratischen Raum einschließt, und im ersten Falle theils senkrecht steht, theils nach außen überhängt, um den cubischen Inhalt des Brunnens zu vergrößern, muß in allen Theilen wasserdicht sein. Zu diesem Zwecke wird sie gleich bei dem Aufführen mit Thon hinterstampft. Sie erhebt sich so weit, daß ihre Deckplatten einen Theil des Straßenpflasters bilden. Der cylindrische innere Brunnenkessel ist im untern Theile, etwa 2 Fuß hoch, aus roh bearbeiteten Bruchsteinen mit offenen Fugen erbaut, damit das Wasser ohne Schwierigkeit hineindringen kann, weiter aufwärts ist er dagegen wasserdicht und aus gebrannten Steinen ausgeführt, und erhebt sich bis zur Höhe des Straßenpflasters. Er trägt als Einfassung gewöhnlich ein Corinthisches Capitäl aus weißem Marmor. Der Raum zwischen beiden Mauern wird mit reinem Flußsande bis etwa 5 Fuß unter dem Pflaster angefüllt, und nachdem derselbe mit reinem Wasser angegossen und angestampft ist, so daß man ein merkliches Setzen nicht mehr befürchten darf, so legt man als Boden und Fundament für einen kleinen Canal möglichst nahe an der äußern Mauer eine Lage Steinplatten mit offenen Stoßfugen. Hierüber wird aus gebrannten Steinen der zwei Fuß weite und drei Fuß hohe überwölbte Canal ausgeführt, von dem zwei oder vier gemauerte Röhren nach eben so viel durchlochten Steinen des Straßenpflasters hinaufführen. Der übrigbleibende Raum wird wieder mit reinem Sande ausgefüllt, worauf das Pflaster mit den Rinnen liegt, welche das Wasser zu den erwähnten durchlochten Steinen führen. Die Wirksamkeit des Brunnens ist diese, daß das hineinfließende Wasser sich zunächst in dem Canale ansammelt, und von hier langsam durch den Sand in den innern Brunnenkessel dringt. Bei einigen dieser Brunnen soll man auch den innern Kessel, soweit derselbe offene Fugen hat, mit Kohlen umschütten, um dadurch das Wasser noch vollständiger zu reinigen.

Diese Brunnen versiegen niemals ganz, indem der durchnäßte Sand auch während der größten Dürre noch einiges Wasser ausscheidet, doch ist die Wassermenge zuweilen so geringe, daß morgens in sehr kurzer Zeit der ganze Vorrath, der sich während 24 Stunden angesammelt hatte, ausgeleert wird, und der Brunnen alsdann während des ganzen Tages geschlossen bleiben muß. Das ausgehobene Wasser ist klar und gewöhnlich von reinem Geschmack,

so dafs es zu allen häuslichen Zwecken benutzt wird, einen grofsen Uebelstand verursachen aber die selten wiederkehrenden sehr hohen Fluthen des Adriatischen Meeres, welche, indem sie die Strafsen unter Wasser setzen, auch in die Brunnen treten und den Sand mit Salztheilchen anfüllen. Es bleibt alsdann nur übrig, den verunreinigten Sand und zugleich die Canäle auszuheben, und nachdem frischer Sand eingeschüttet worden, letztere neu aufzuführen. *)

Die Sandschüttung, durch welche sich der Venetianische Brunnen hauptsächlich von der gewöhnlichen Cisterne unterscheidet, gewährt nicht nur den Vortheil, dafs das Wasser filtrirt, sondern dieses auch zurückgehalten wird, so dafs es nur nach und nach in das eigentliche Sammelbassin oder den innern Brunnenkessel gelangt. Der letzte Umstand ist nicht minder wichtig, als der erste, denn während das Wasser sich in den Zwischenräumen des Sandes befindet, so ist es bei dessen geschützter Lage vor jeder Verunreinigung von aufsen, sowie auch vor der Bildung eines organischen Lebens im Innern gesichert, und da es nur in dem Maafse in den Brunnenkessel fliefst, wie letzterer ausgeschöpft wird, so bleibt es nicht so lange darin, dafs der Zutritt der Luft es daselbst verderben, oder dafs Pflanzen und Thiere darin vegetiren könnten. Dieser Brunnen ist also ein fliefsender Quell, der ähnlich den natürlichen Quellen immer frisches Wasser giebt.

Man hat auch bei andern Cisternen die Vorrichtung angebracht, dafs das eintretende Wasser durch Sandschüttungen geleitet wird, doch ist die Quantität des Sandes alsdann so geringe, dafs sie nur wenig Wasser zurückhält und der gröfste Theil desselben sich in dem Reservoir ansammelt. Dieses ist z. B. in der ausgedehnten Cisterne in Livorno der Fall. Ein grofses Bassin von etwa 21 Ruthen Länge und 18 Ruthen Breite, dessen gewölbte Decke von zwanzig Mittelpfeilern getragen wird, nimmt das gereinigte Wasser auf, während zwei mit Sand gefüllte Räume zur Seite, deren jeder nur den vierten Theil des Flächeninhalts vom Bassin fafst, als Filter dienen. **)

---

*) Die vorstehende Beschreibung beruht grofsentheils auf Nachrichten, die ich in Venedig gesammelt habe. Die in der Wiener allgemeinen Bauzeitung Jahrgang 1836, wie in den Litteratur-Blättern derselben von 1861 und 1864 gemachten Mittheilungen stimmen hiermit ungefähr überein, indem sie noch verschiedene Details hinzufügen.

**) Förster's Allgemeine Bauzeitung. 1838. S. 165.

Zweiter Abschnitt.

Quellen und Brunnen.

§. 6.
Wassermenge der Quellen.

Aus den im ersten Abschnitte mitgetheilten Beobachtungen ergiebt sich, dafs an vielen Orten im Laufe des Jahres eine gröfsere Wassermenge verdunstet, als die atmosphärischen Niederschläge liefern. Wäre daher hier der Erdboden ganz eben und wasserdicht, so dafs der Regen oder das Schneewasser unbeweglich an der Stelle bliebe, wo es niedergefallen, so würde daselbst keineswegs das Wasserquantum fortwährend zunehmen, sondern im Gegentheil würde es zuweilen vollständig verschwinden und der Boden würde ganz trocken werden.

Die Erdoberfläche ist indessen weder eben noch undurchdringlich. Das Regen- und Schneewasser fliefst sogleich von allen, und selbst von schwach geneigten Anhöhen herab, und sammelt sich in den tieferen Stellen, also in Sümpfen, Teichen oder Bachbetten. Hier wird es von der Luft nur in einer geringeren Oberfläche berührt, als diejenige war, auf der es niederfiel, und sonach verdunstet es auch nur weniger, als wenn es nicht abgeflossen wäre. Andrerseits dringt das Wasser auch in den Boden ein, und wenn dieses bis zur Tiefe von etwa 1 Fufs oder darüber geschieht, so entzieht es sich vollständig der Verdunstung, bis es vielleicht an einer tiefer belegenen Stelle wieder als Quell hervortritt und mit der Luft aufs Neue in Berührung kommt. Dasjenige Wasser aber, welches die obere Erdschicht benetzt, bleibt der Verdunstung ausgesetzt, und in dem Maafse wie es verdunstet, steigt das darunter befindliche Wasser in Folge der Capillar-Attraction aus der Tiefe von etwa 1 Fufs wieder auf, und verdunstet gleichfalls nach und nach.

In dieser Weise entzieht sich ein grofser Theil des Niederschlages der Verdunstung und speiset die Bäche, Ströme und Seen. Das

Verhältnifs desselben zur ganzen Masse des Niederschlages hängt aber theils von der Neigung und theils von der Beschaffenheit des Bodens ab. Von steilen Abhängen eines festen Gebirges stürzt das Wasser ohne merklichen Verlust in das Bachbette hinab, in klüftigem Gebirge, wie in der Kreide, verschwindet es dagegen sogleich in den Spalten, woher die wenig ausgebildeten Bachbetten daselbst auch nur zur Zeit des stärksten Regens sich zu füllen pflegen. In den Ebenen sammelt sich das Wasser an, wenn nicht für eine schnelle Entwässerung durch Abzugsgräben künstlich gesorgt wird. Besteht der Boden dagegen aus Torf oder ist er mit Laub oder Moos überdeckt, so nehmen diese Stoffe das Wasser in grofser Menge auf und schützen es gegen Verdunstung, während es durch die darunter befindlichen Sand- und Kiesschichten langsam abfliefst und nie versiegende Quellen speist.

Wenn auch in früherer Zeit, als man die Wassermassen der Flüsse noch nicht gemessen hatte, diese einfachen Verhältnisse nicht erkannt, vielmehr die wunderbarsten Hypothesen über den Ursprung der Quellen aufgestellt wurden, so überzeugte sich doch schon Mariotte, dafs die Seine nur etwa den sechsten Theil desjenigen Wassers dem Meere zuführt, das in ihrem Gebiete als Regen oder Schnee niederfällt.

Dalton stellte sich die Aufgabe, für die sämmtlichen Ströme und Flüsse in England und Wales diesen Vergleich durchzuführen. Wie sicher seine Messungen der Regenmenge indessen auch waren, so blieben die Schätzungen der Wassermengen der Ströme doch höchst zweifelhaft, indem für die Themse nur mittlere Tiefen und Geschwindigkeiten arbitrirt, und die andern Ströme sogar nur nach oberflächlicher Schätzung mit der Themse verglichen wurden. Das Resultat war, dafs eine Wassermenge, welche der Höhe von 12 Zoll 7 Linien Rheinländisch entspricht, durch diese Ströme dem Meere zugeführt wird. *)

Für die Seine hat Arago **) eine Berechnung mitgetheilt, die jedenfalls gröfseres Vertrauen verdient. Hiernach werden an der Brücke unterhalb der Tuilerien bei mittlerem Wasserstande 8248 Rhl. Cub. Fufs in der Secunde abgeführt, also während des Jahres 260120 Millionen Cub. Fufs, und der Flächenraum, auf dem das Wasser

---

*) Gilbert's Annalen, Band 15, S. 249 ff.

**) *Annuaire pour l'an* 1834. S.197 ff.

sich sammelt, hat eine Ausdehnung von 664,2 Deutschen Quadrat-Meilen. Die Höhe der durch die Seine abgeführten Wassermenge beträgt also 7 Zoll 1 Linie, oder sie kommt ungefähr dem dritten Theile des Niederschlages gleich.

Später hat Dausse*) die Höhe desjenigen Theiles des Niederschlages im Gebiete der Seine, der im Flusse abgeführt wird, aus den an der Brücke Tournelle in Paris angestellten Wasserstands-Beobachtungen hergeleitet. Letztere umfassen die dreifsig Jahre von 1807 bis 1836. Auf Rheinländische Zolle reducirt ergab sich durchschnittlich diese Höhe

von Mai bis October . . . . 2,37 Zoll
von November bis April . . . . . 4,41 -
also im ganzen Jahre . . . . . . 6,78 -

was mit dem von Arago gefundenen Resultate ungefähr übereinstimmt.

Ich habe versucht, für einige Ströme in Preufsen dieses Verhältnifs zu ermitteln, und wenn die Resultate auch nicht den Grad von Sicherheit haben, den man bei allen Untersuchungen zu erreichen wünscht, so dürften sie doch den eben mitgetheilten nicht an Genauigkeit nachstehn. Welche Ausdehnung ein Stromgebiet hat, worauf das Wasser sich sammelt, das an einer bestimmten Stelle des Flusses vorbeigeführt wird, läfst sich auf jeder guten Charte genau genug nachmessen. Wie grofs die Regenmenge ist, kann man aus der obigen Tabelle, wenn auch nicht ganz sicher, doch wenigstens annähernd entnehmen. Viel schwieriger ist aber die Frage zu beantworten, welche Wassermenge der Strom durchschnittlich abführt. Eine genaue Messung derselben ist schon bei kleinem Wasser und schwacher Strömung sehr zeitraubend und umständlich, bei hohen und den höchsten Wasserständen, die oft ganz unerwartet eintreten und nicht lange anhalten, ist sie aber kaum mit einiger Sicherheit auszuführen. Eine Zusammenstellung aller verschiedenen Wassermengen, die während des ganzen Jahres abgeführt werden, woraus man die mittlere finden könnte, läfst sich sonach nicht machen, und man mufs voraussetzen, dafs beim mittlern Wasserstande der Strom auch die mittlere Wassermenge abführt. Der mittlere Wasserstand ist überall, wo Pegelbeobachtungen regelmäfsig angestellt

*) *Annales des Ponts et Chaussés* 1842. I. *pag.* 200.

werden, leicht zu finden. Ich habe in den folgenden Rechnungen denselben allein aus dem Jahre 1833 hergeleitet, da die mittlere Höhe sowohl der Wasserstände, als der atmosphärischen Niederschläge, in diesem Jahre ziemlich nahe gleich kommt den aus mehreren Decennien hergeleiteten arithmetischen Mitteln. Hiernach bestimmten sich die Wasserstände, für welche man die zugehörigen Wassermengen suchen mufs, doch trafen die wenigen, meist zu anderem Zwecke angestellten Messungen der Wassermengen nicht auf diese Pegelstände, und es kam daher zunächst darauf an, zu untersuchen, in welchem Maafse die Wassermenge bei höherem oder niedrigerem Stande sich vergröfsert oder verkleinert. Hierzu würde eine einfache Interpolation genügen, wenn gröfsere Reihen von Messungen bei verschiedenen Wasserständen vorgelegen hätten, doch war dieses allein bei der Weser der Fall, für alle übrigen Ströme konnte ich nur einzelne Messungen zum Grunde legen.

Wenn auch die neuern Messungen zu einer ganz andern Beziehung zwischen der mittleren Geschwindigkeit und dem Gefälle der Ströme geführt haben, als man bisher annahm *), so haben dieselben dennoch bestätigt, dafs bei gleichem Gefälle die mittlere Geschwindigkeit der Quadratwurzel aus der mittleren Tiefe proportional ist. Indem aber auch die Wassermengen bei gleicher Breite des Flufsbettes wieder den Producten aus den mittleren Geschwindigkeiten in die mittleren Tiefen proportional sind, so folgt, dafs bei verschiedenen Wasserständen die Quadrate der Wassermengen zu den dritten Potenzen der mittleren Tiefen in constantem Verhältnisse stehn. Die beiden eingeführten Voraussetzungen sind freilich in aller Strenge nicht richtig, aber sie rechtfertigen sich wohl, wenn der Wasserstand, bei dem die Wassermenge gemessen wurde, demjenigen ziemlich nahe liegt, auf den man letztere reduciren will. Man erhält hiernach die dem mittleren Wasserstande entsprechende Wassermenge

$$M' = \left(\frac{h+a}{h}\right)^{\frac{3}{2}} M$$

wo M die beobachtete Wassermenge für die mittlere Tiefe h, und $h+a$ die mittlere Tiefe beim mittleren Wasserstande bedeutet. Eine

*) Ueber die Bewegung des Wassers in Strömen. Abhandlungen d. Kgl. Academie der Wissenschaften. Berlin 1868.

Vergleichung der hiernach berechneten Resultate mit den an der Weser wirklich beobachteten zeigte, daſs die Abweichungen nicht bedeutend sind, woher man mit einigem Vertrauen sich dieses Ausdrucks bedienen kann.

Die folgende Tabelle weist die Resultate der sieben Messungen nach, die mir vorlagen. In der zweiten Spalte derselben ist die Ausdehnung des Fluſsgebietes nur soweit angegeben, als die Zuflüsse den Strom schon oberhalb des Beobachtungsortes treffen. Die letzte Spalte zeigt aber an, wieviel Zolle hoch das ganze Fluſsgebiet von demjenigen Theile des jährlichen Niederschlages bedeckt wird, welchen der Fluſs abführt.

	Ausdehnung des Fluſsgebietes	Wassermenge beim mittleren Wasserstande	Mittlere Wassermenge pro Quadratmeile	Höhe der abgeführten Wassermenge
	Quadrat-M.	Cubik-F.	Cubik-F.	Zolle.
1) Der Rhein bei Emmerich	2800	76000	27,2	17,8
2) Der Rhein bei Coblenz, oberhalb der Mosel-Mündung	2000	43000	21,5	14,1
3) Die Ems bei Rheine .	65	600	9,3	6,1
4) Die Weser b. Schlüsselburg	370	7100	19,2	12,6
5) Die Weichsel b. Schwetz	3400	34000	10,0	6,6
6) Die Weichsel oberhalb der Montauer Spitze	3500	24000	6,9	4,5
7) Der Pissek b. Johannisburg	35	330	9,4	6,2

Es ergiebt sich hieraus wieder, daſs auch in diesen Fällen die abgeführte Wassermenge bedeutend kleiner, als der jährliche Niederschlag ist, es zeigen sich dabei aber wesentliche Unterschiede, die man keineswegs als Beobachtungsfehler ansehn kann, sie geben vielmehr, übereinstimmend mit der obigen Auseinandersetzung, zu erkennen, daſs die Wassermenge, welche aus Gebirgsgegenden den Strömen zugeführt wird, bedeutender ist, als diejenige, welche eine gleiche Oberfläche des ebenen Landes liefert.

Ueber die einzelnen Beobachtungen muſs noch bemerkt werden, daſs

No. 1. zwar nur auf einer einzelnen Messung beruht, die aber bei einem Wasserstande angestellt wurde, der dem mittleren sehr nahe war.

No. 2. gründet sich auf eine einzige Messung bei sehr niedrigem Wasser, das aus ihr gezogene Resultat verdient sonach wenig Vertrauen.

No. 3. liegen mehrere Messungen zum Grunde, die jedoch in allen Details nicht mehr bekannt sind.

No. 4. bezieht sich auf mehrere Beobachtungen, die vor etwa 20 Jahren bei verschiedenen Wasserständen mit Sorgfalt angestellt wurden.

No. 5. und 6. liegen wieder nur einzelne Messungen zum Grunde, die aber bei Wasserständen gemacht sind, welche nicht viel unter dem mittleren waren.

No. 7. ist endlich auf eine Messung basirt, die ich bei einem Wasserstande, der dem mittleren sehr nahe kam, ausgeführt habe.

In neuster Zeit sind über denselben Gegenstand sehr interessante Untersuchungen theils bereits angestellt, theils auch eingeleitet worden. Namentlich muſs die Einrichtung des hydrometrischen Büreaus für das Seine-Gebiet (*service hydrométrique du bassin de la Seine*) erwähnt werden, die 1854 erfolgte *). Für die Seine selbst, sowie für deren sämmtliche Zuflüsse werden nämlich sowol die täglichen Wasserstände, mit Bezeichnung der Reinheit des Wassers, wie auch die täglichen Niederschläge aufgezeichnet, und in groſsem Maaſsstabe graphisch dargestellt. Indem jeder Tag durch die Länge von einem Millimeter (0,46 Rheinl. Linie) bezeichnet ist, die Wasserstände aber im hundertsten Theile und die Niederschläge in der vollen Gröſse angegeben sind, so lassen sich alle Maaſse aus diesen Scalen mit hinreichender Sicherheit entnehmen, während die verschiedene Färbung der Wasserstände zugleich die Reinheit des Wassers bezeichnet und die Formation des Bodens durch die beigedruckten Bemerkungen namhaft gemacht wird. Es mag hier nur bemerkt werden, daſs nach den Scalen von 1866 wieder der stärkste Niederschlag bei Settons im Departement Nièvre gemessen wurde und derselbe am 24. September 3 Zoll 10 Linien betrug.

Auch die Wassermengen andrer Ströme sind sowol für das

*) *Annales des Ponts et Chaussées* 1857. I. *pag.* 257.

ganze Jahr, als bei besonders hohen oder niedrigen Wasserständen in neuerer Zeit ermittelt.

Die Oder führt bei Steinau *) jährlich ungefähr den dritten Theil des Niederschlages im Stromgebiete ab, nämlich 5,75 Zoll.

Die Weser soll **) zur Zeit des kleinsten Wassers bei Münden 4,7 und unterhalb der Aller-Mündung nur 4 Cubikfufs von jeder Quadratmeile ihres Gebietes in der Secunde abführen, zur Zeit des höchsten Wassers dagegen an denselben Stellen 347 und 282 Cubikfufs von der Quadratmeile. Oberhalb der Mündung der Hase führt die Ems beim niedrigsten und beim höchsten Wasserstande von jeder Quadratmeile ihres Gebietes in der Secunde 3,1 und 415 Cubikfufs ab.

Für die nachstehend benannten Flüsse in Frankreich sollen die abgeführten Wassermengen zur ganzen Regenmenge in folgendem Verhältnisse stehn ***):

bei der Yonne (in der Lias-Formation) zu l'Auxois 0,65 : 1
bei der Saône zu Trévoux 0,53 : 1
bei der Garonne oberhalb Marmande 0,65 : 1 und
bei der Seine oberhalb Paris 0,28 : 1.

Ferner ist zu erwähnen, dafs die Cure bei ihrer Mündung in die Yonne bei Settons nach 5jährigen Beobachtungen während der Sommermonate Juni bis October 0,44 und während der andern 7 Monate 0,98, durchschnittlich im ganzen Jahre aber 0,74 des gesammten Niederschlages abführt. †)

Endlich sind noch die Resultate der von Humphreys und Abbot in dieser Beziehung angestellten Beobachtungen mitzutheilen. Für den ganzen Missisippi stellt sich das Verhältnifs der jährlich abgeführten Wassermenge zum Niederschlage auf 0,25 während es bei einigen Nebenflüssen, wie dem Missouri und Arcansas nur 0,15 bei andern dagegen wie beim Yazao und St. Francis 0,90 beträgt.

Sehr wichtig sind bei diesen Strömen noch die Verhältnisse zwischen den beim kleinsten und höchsten Stande abgeführten Wassermengen. Bei Columbus, nahe unterhalb der Mündung des Ohio,

---

*) Zeitschrift für Bauwesen 1868. Seite 90.

**) Zeischrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins in Hannover 1849. Seite 234.

***) *Annales des Ponts et Chaussées* 1860. I. *pag.* 154.

†) *Annales des Ponts et Chaussées* 1858. II. *pag.* 161.

trat der höchste Wasserstand bei 40,7 Fuſs am Pegel den 18. Juni 1858 ein, der niedrigste dagegen am 16. October desselben Jahres bei 3,5 Fuſs. Die Differenz betrug also 37,2 Fuſs Engl. oder 36,2 Rheinländisch. Die Wassermengen betrugen in beiden Fällen nach den dort üblichen Messungsmethoden 1 403 400 und 128 670 Engl. Cubikfuſs in der Secunde. Sie verhalten sich daher zu einander, nahe wie 11 : 1.

In Vicksburg dagegen, das 4½ Grade südlicher liegt und wo inzwischen mit vielen andern kleineren Flüssen noch der Arcansas hinzugetreten ist, fand in demselben Jahre der höchste Stand von 48,2 Fuſs am 24. Juni und der niedrigste von 8,7 Fuſs am 25. October statt. Der Unterschied der Wasserstände betrug also 39,5 Fuſs Englisch oder 37,1 Fuſs Rheinländisch. Die gröſste gemessene Wassermenge wird aber nur zu 1 244 500 Cubikfuſs Engl., also geringer, wie bei Columbus angegeben, die kleinste dagegen zu 233 329 Fuſs. Das Verhältniſs beider stellt sich auf 5,4 zu 1.

In Corrollton dicht oberhalb New-Orleans, woselbst die Messungen im Jahre 1851 gemacht wurden, erreichte der Missisippi die gröſste Höhe von 14,8 Fuſs am 17. März und sank am 20. October auf 1,6 Fuſs herab. Die Differenz der Wasserstände betrug also nur 13,2 Fuſs Engl. oder 12,8 Rhl. Fuſs, und das Verhältniſs der gröſsten Wassermenge zur kleinsten war wie 4,2 zu 1.

Daſs bei einem so groſsen Stromgebiete, wie dem des Missisippi, welches etwa 18 Breitengrade umfaſst, die abgeführte Wassermenge viel gleichmäſsiger bleibt, als in einem kleineren Flusse, dessen ganzes Gebiet leicht von demselben Regen getroffen wird, ist erklärlich, und ebenso auch die andre Erscheinung, die sich aus den vorstehenden Messungen ergiebt, daſs nämlich kleinere Flüsse und Bäche, besonders in festem Gebirge, das Regenwasser viel vollständiger aufnehmen und abführen als gröſsere im flachen Lande. Je länger das Wasser mit der Luft in Berührung bleibt, um so stärker verdunstet es, und je weiter es flieſst, um so mehr findet es auch Gelegenheit, die anliegenden Flächen zu durchdringen und auf denselben wieder zu verdunsten.

§. 7.
Quellenbildung.

Nachdem im Vorstehenden nachgewiesen ist, dafs selbst kleinere Flüsse nicht die ganze Regenmenge abführen, die in ihrem Gebiete niederschlägt, so fehlt jede Veranlassung, noch andere Erklärungen für den Ursprung der gewöhnlichen Quellen zu suchen. Nichts desto weniger mögen diese dennoch mit wenig Worten erwähnt werden, da sie zum Theil auch in die hydrotechnischen Werke übergegangen sind.

Descartes, und nach ihm Silberschlag, betrachtete die Quellen als Producte einer Destillation. Das Meer soll in die feste Erdmasse eintreten und bis zu derjenigen Tiefe versinken, wo die Temperatur den Siedegrad erreicht. Hier verflüchtigt sich das Wasser und schlägt an der kalten Oberfläche nieder, von wo es durch zufällige Spalten oder Kiesschichten abfliefst. Diese Hypothese wird nicht nur durch keine Erscheinung bestätigt, sondern auch durch die Temperatur des Quellwassers widerlegt, die in der Regel mit der mittleren Temperatur des Erdbodens übereinstimmt.

Noch unhaltbarer und augenscheinlich auf einem Irrthume beruhend ist die Voraussetzung, dafs das Wasser in Folge der Capillar-Attraction bis zu den höchsten Gebirgen ansteigt und von hier frei abfliefst. Selbst in dem feinsten Material, wo also die Zwischenräume zwischen den einzelnen Körnchen möglichst enge sind, erhebt sich das Wasser wohl niemals höher, als etwa 2 Fufs, es füllt aber nur eben die Zwischenräume und wird durch die Capillar-Attraction in diesen zurückgehalten. Legt man einen Schwamm in ein Gefäfs mit Wasser, so saugt er das letztere mehrere Zoll hoch an und füllt sich damit in seiner ganzen Höhe, bringt man darin aber eine weite Höhlung an, die nicht bis unter die Oberfläche des umgebenden Wassers herabreicht, so bleibt diese ganz leer.

Endlich ist noch in neuerer Zeit, namentlich in Folge mancher auffallenden Erscheinungen an Artesischen Brunnen, die Vermuthung ausgesprochen, dafs im Innern der Erde grofse Wassermassen durch darüber liegende undurchdringliche, aber doch flexible Schichten einem starken Drucke ausgesetzt sind, in Folge dessen die Quellen bis zur Oberfläche und selbst darüber hinaus ansteigen. Abgesehn von

der vorausgesetzten eigenthümlichen und höchst unwahrscheinlichen Beschaffenheit solcher Schichten widerlegt sich diese Hypothese dadurch, daſs die Quellen in solchem Falle nach und nach immer schwächer werden und endlich ganz versiegen müſsten. Wenn aber hin und wieder bemerkt worden, daſs bei Artesischen Brunnen das Wasser im ersten Momente höher aufspritzt, als später, so erklärt sich dieses leicht aus dem gröſseren Drucke, dem das stehende Wasser ausgesetzt ist, und der sich vermindert, sobald ein Ausfluſs eröffnet wird. Diese letzte Erscheinung kann aber ebensowol durch den hydrostatischen Druck, wie durch den einer auf dem Wasser ruhenden Erdmasse veranlaſst werden.

Die Bildung der gewöhnlichen Quellen erklärt sich in der einfachsten Weise dadurch, daſs der atmosphärische Niederschlag in den Erdboden eindringt, und dem Gesetze der Schwere folgend sich abwärts bewegt, so lange er leere Räume findet, die er anfüllen kann. Wird seine Bewegung aber entweder durch eine wasserdichte Schicht oder dadurch unterbrochen, daſs die feinen Zwischenräume der lockern Erd- oder Sandschicht bereits vollständig gefüllt sind, so flieſst er seitwärts ab, indem er stets demjenigen Wege folgt, der ihn am meisten abwärts führt. Doch auch hier würde die Bewegung durch die vollständige Füllung der Räume bald unterbrochen werden, wenn nicht irgendwo ein Ausfluſs sich eröffnete, und zwar an einer Stelle die tiefer liegt, als diejenige, in der das Wasser sich angesammelt hat. Auf solche Art tritt das Wasser durch Sand- und Kiesschichten oder auch wohl durch klüftiges Gestein meist an dem Fuſse einer Anhöhe als Quell wieder hervor, und bei dem langen Aufenthalte im Erdboden nimmt es die Temperatur desselben an.

Da die wasserleitenden so wie die undurchdringlichen Erdschichten im aufgeschwemmten Boden sich ganz zufällig und sonach höchst unregelmäſsig abgelagert haben, so kann es nicht fehlen, daſs die unterirdischen Wasserläufe zuweilen in eigenthümlicher Weise sich bilden, also vielleicht bis zu groſser Tiefe herabsinken und alsdann wieder ansteigen, indem sie ringsumher bis zur Ausmündung von undurchdringlichen Schichten eingeschlossen werden. So wurde auf der sehr niedrigen Insel zwischen beiden Pregel-Armen in Königsberg vor etwa 30 Jahren ein Artesischer Brunnen ausgeführt, der zwar nur eine sehr kleine Quantiät Wasser lieferte, die jedoch einige Fuſs hoch über dem Erdboden ausfloſs. Dieses Wasser muſste unbedingt

von einer Anhöhe, also wahrscheinlich von dem nicht weit entfernten nördlichen Pregelufer zufliefsen, aber es mufste auf diesem Wege den Stromarm passiren, der 20 Fufs tief ist, und zwar ohne mit demselben in Verbindung zu stehn, weil es sich sonst wegen des geringeren Gegendruckes in ihn ergossen hätte.

Auffallender ist noch das Phänomen, welches Poussin erwähnt, dafs nämlich vor der Mündung des Missisippi Salzquellen in der Höhe von 7½ Fufs über dem mittleren Stande der See, also noch einige Fufs über dem Hochwasser, austreten. Mehrfach findet man auch sonst am Seestrande, und zwar vor flachen Ufern, Brunnen die süfses Wasser enthalten, also mit der See nicht in Verbindung stehn, vielmehr nur durch die unterirdischen Zuflüsse aus den Dünen gespeist werden.

Die verschiedenen Erdschichten, welche theils das Wasser zurückhalten, theils dasselbe aufnehmen und zugleich eine mehr oder minder gehemmte Durchströmung gestatten, verdienen noch eine eingehende Betrachtung. Die Gartenerde, im gewöhnlichen compacten Zustande, wie sie in Folge der vegetabilischen Zersetzungen einen grofsen Theil der Oberfläche bedeckt, befeuchtet sich zwar durch den darauf fallenden Regen, doch dringt derselbe, wie schon Seneca bemerkte, nur bis zu sehr geringer Tiefe in sie ein. De la Hire überzeugte sich durch verschiedene Messungen, dafs selbst ein lange anhaltender Regen nie tiefer, als etwa 1 Fufs, eindringt. Hiernach scheint der atmosphärische Niederschlag, der eine starke Lage dieser Erde trifft, nicht unmittelbar zur Quellenbildung beitragen zu können, sondern soweit er nicht eingesogen wird, über der Oberfläche abzufliefsen, wobei er freilich beim Begegnen von Sandschichten später in diese eindringen kann. Es mufs aber gleich erwähnt werden, dafs vielfach die Quellen, welche man in der Tiefe von mehreren hundert Fufs angetroffen hat, nach starkem Regen oder nach dem Schmelzen des Schnees kräftiger werden, als sie sonst sind. Namentlich beim Bergbau ist diese Erfahrung oft gemacht worden. So bemerkt man in den Gruben von Cornwallis, dafs wenige Stunden nach einem starken Regen die Grubenwasser zunehmen. Dasselbe hat man auch in den Kohlenzechen an der Ruhr wahrgenommen. Es ergiebt sich hieraus augenscheinlich, dafs selbst solche tiefliegende Quellen dem Regen ihren Ursprung verdanken.

Auf welche Art das Wasser in den Boden eindringt und an

den tiefern Stellen der Erdoberfläche wieder zum Vorschein kommt, kann bei kiesigem und sandigem Grunde nicht zweifelhaft sein. Jenachdem die Zwischenräume, die sich darin vorfinden, gröfser oder kleiner sind, und jenachdem der Weg kürzer oder länger ist, so erfolgt das Durchdringen auch mit gröfserer oder minderer Schnelligkeit. Füllt man eine oben und unten offene Glasröhre, die auf eine Metallplatte gestellt ist, mit Sand und giefst Wasser hinein, so wird letzteres schnell in den Sand eingezogen, und man bemerkt, dafs der Sand durchnäfst wird. War die Wassermenge nicht hinreichend, um allen Sand bis zum untern Ende der Röhre zu benetzen, so erfolgt keine Bewegung des Wassers, dasselbe wird vielmehr durch die Capillar-Attraction so fest im Sande gehalten, dafs die Wirkung der Schwere sich nicht zu erkennen giebt. Die vollständige Benetzung des Sandes erfolgt, wenn $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ von dem Volum des Sandes an Wasser zugegossen sind. Ein stärkerer Zusatz kann weder aufgenommen noch gehalten werden, die Capillar-Attraction setzt seiner Bewegung auch kein weiteres Hindernifs entgegen, und erlaubt den einzelnen Wassertheilchen, der Wirkung der Schwere zu folgen, so lange andere an deren Stelle treten, und nur die letzten hält sie mit ihrer ganzen Kraft zurück. So geschieht es, dafs das Wasser, welches in den erwähnten Apparat nach der vollständigen Benetzung des Sandes noch zugegossen wird, aus der untern Oeffnung der Röhre hervorquillt. Wenn man aber umgekehrt das Wasser von unten in die mit trocknem Sande gefüllte Röhre eindringen läfst, so wird der Sand bis zu einer gewissen Höhe benetzt, aber weiter zieht sich kein Wasser hinein, weil die Capillar-Attraction nur bis zu einer bestimmten Grenze wirksam bleibt und eine andere Kraft nicht vorhanden ist, um das Wasser noch höher steigen zu lassen. Auf solche Art stellen sich zwei verschiedene Wasserspiegel, die durch zwischenliegende Sand- oder Kiesmassen von einander getrennt sind, nach und nach in gleiches Niveau. Hierauf beruht die Ansammlung des Wassers im Kessel des Venetianischen Brunnens, und ebendaher ist es auch so schwierig, im Sandboden einen Wasserstand zu halten, der höher oder niedriger als der des Grundwassers ist. Liegt letzteres bedeutend unter der Oberfläche des Erdbodens, so ist die Ableitung des Tagewassers nach einer niedrigeren Gegend überflüssig, indem selbiges sich schon in den Boden einzieht und verschwindet. Dieses eindringende Wasser ist jedoch selten

ganz rein, gewöhnlich schweben darin feine Thon- und Humustheilchen, die es mehr oder weniger trüben. Diese Theilchen dringen gleichfalls in die Zwischenräume zwischen den Sandkörnchen, aber bald finden sie den Weg so verengt, dafs sie stecken bleiben. Sie scheiden sich alsdann vom Wasser aus, oder dieses wird filtrirt und erscheint in dem Quell, den es speist, vollkommen klar. Die Zwischenräume in derjenigen Sandschicht, in welche das trübe Wasser zunächst eintritt, verstopfen sich indessen nach und nach, und der Boden verliert dadurch die Fähigkeit das Wasser aufzunehmen, wenn auch das Grundwasser viel tiefer liegt. Um ein niedriges Terrain, das in dieser Weise versumpft ist, wieder trocken zu legen, mufs man die dünne undurchdringliche Schicht durchstechen und zwar an der tiefsten Stelle, wo die Ansammlung des Wassers vorzugsweise erfolgt. Solche Gruben, die zuweilen ihren Zweck sehr befriedigend erfüllen, nennt man Schling- oder Senkgruben. Sie pflegen indessen sich bald zu verstopfen und werden alsdann unbrauchbar, man kann ihre Dauer jedoch sichern, wenn man sie von Zeit zu Zeit nicht nur aufgräbt, (wodurch sie immer tiefer werden würden, bis man sie endlich verlassen müfste) sondern dafs man nach dem jedesmaligen Ausheben der verunreinigten Sandschicht eine eben so starke Lage reinen Sandes hineinbringt. Die an den Filtrir-Apparaten gemachten Erfahrungen zeigen nämlich, dafs die feinen Erdtheilchen nur wenig Zolle tief in den Sand einzudringen pflegen.

Die mächtigen Ablagerungen des aufgeschwemmten Bodens, welche den gröfsten Theil der Erdoberfläche bedecken, sind entweder Niederschlag des stehenden, oder doch nur wenig bewegten Wassers, welches die darin schwebenden Thontheilchen fallen liefs, und stellen alsdann eine für das Wasser mehr oder weniger undurchdringliche Schicht dar, oder sie bestehn aus Geschieben, Kies und Sand, die sich im Bette eines mehr oder weniger heftigen Stromes abgelagert haben. Im letzten Falle bildet sich eine wasserleitende Schicht, und dieses geschieht auch, wenn anhaltender Wellenschlag eine frühere Ablagerung traf und alle feinen Erdtheilchen auswusch. Die Verhältnisse bleiben aber keineswegs immer unverändert. Die Umgestaltung des Bodens wird Veranlassung, dafs wasserleitende Schichten von undurchdringlichen überdeckt werden und umgekehrt, wie dieses in Flufsthälern, worin die Ufer nicht vollständig gesichert

sind, auch noch geschieht. Auf diese Art ist eine mannigfache Abwechselung der beiden Gattungen von Schichten entstanden, und in Rücksicht auf die Quellen bildet sich eine noch größere Verschiedenheit dadurch, daſs diese Schichten nicht immer horizontal liegen und oft scharf abgeschnittene Grenzen haben.

Eine wasserleitende Schicht, welche an ihrem obern Ende das Regenwasser aufnimmt, bildet einen natürlichen Quell, wenn sie am untern Ende wieder die Erdoberfläche trifft, erreicht sie jedoch nicht die Erdoberfläche, und bleibt sie des Wasserdruckes ungeachtet mit einer undurchdringlichen Schicht bedeckt, so wird diese, wenn sich auch kein eigentlicher Quell darin bildet, doch immer feucht und deshalb häufig unfähig zur Cultur sein. In solchem Falle befand sich die kleine Besitzung Princetorp in Warwick, wo Elckingston den ersten Versuch zur Trockenlegung der Felder machte, und wo er seine Wirksamkeit begann, die bald darauf weit und breit in Anspruch genommen und später auf Veranlassung der Gesellschaft zur Beförderung des Ackerbaues durch Johnston beobachtet und bekannt gemacht wurde. Der thonige Untergrund war dort beständig vom Wasser durchzogen, und die Gräben, die man anlegte, verfehlten ihren Zweck, indem kein Wasser hineinfloſs. Elckingston hatte als letzten Versuch noch einen sehr tiefen Graben ausheben lassen, der aber, gleich den früheren, sich nicht mit Wasser füllte. Als er jedoch absichtslos seinen Stock in die Sohle des Grabens tief hineinstieſs, erreichte er zufällig die wasserleitende Kiesschicht, und ein starker Quell sprudelte mit Heftigkeit hervor, worauf das Feld trocken wurde.

Erreicht man durch Graben oder Bohren solche Schichten, so füllen sich die Brunnen mit Wasser an, und wenn die Höhenlage es gestattet, so flieſsen diese Brunnen über. Auch diejenigen Kiesschichten, denen ein natürlicher Abfluſs nicht ganz fehlt, sind zur Speisung von Brunnen geeignet, und können sogar flieſsende Brunnen bilden, wenn das Wasser auf dem neuen künstlichen Wege leichter entweicht, als durch den früheren natürlichen Abfluſs.

Manche Kiesschichten haben am obern Ende keinen natürlichen Zufluſs, während sie unten geöffnet sind. Wenn in solche zufälligerweise Wasser eindringt, so werden sie dieses leicht aufnehmen und abführen. Dasselbe geschieht auch in andern Schichten, wenn die Capacität des Abflusses gröſser ist, als die zugeführte Wassermenge.

Dieses sind die absorbirenden Schichten, die sehr geeignet sind, einen Zweck zu erfüllen, welcher dem der gewöhnlichen Brunnen gerade entgegengesetzt ist. Bei den Entwässerungsanlagen, die Elckingston ausführte, benutzte er zuweilen auch solche absorbirende Schichten, und stürzte das Wasser unmittelbar aus der Kiesschicht, die es zuführte, durch ein Bohrloch in eine darunter befindliche absorbirende Schicht. Auch bei Brunnenanlagen zeigen sich häufig Schichten der letzten Art. Auf dem hohen Ufer der Samländischen Küste in Ost-Preuſsen, nahe an der See, besteht unter andern ein achtzig Fuſs tiefer Brunnen, der zwar immer Wasser enthielt, aber im Gebrauche unbequem war. Man glaubte, durch weitere Vertiefung reichhaltigere Quellen zu eröffnen und den Wasserspiegel zu heben, doch war der Erfolg gerade ein entgegengesetzter, man traf auf eine absorbirende Schicht, und der Brunnen versiegte ganz. Aehnliche Beispiele ereignen sich nicht selten, wo dergleichen abwechselnde Schichten vorkommen.

Bisher ist nur von wasserleitenden und undurchdringlichen Schichten die Rede gewesen, doch giebt es auſserdem noch vielfache Abstufungen zwischen beiden. Zu diesen gehört auch der feine Sand, der wegen der Art, wie er das Wasser ausflieſsen läſst, eine besondere Erwähnung verdient. Er kann bei seiner Ablagerung verschiedene Grade von Dichtigkeit annehmen. Wird die Schüttung mit groſser Vorsicht und recht leise ausgeführt, so daſs die einzelnen Körnchen sich möglichst sanft niederlegen, so lassen sie gröſsere leere Räume zwischen sich, die auch später durch bloſsen Druck nicht zu beseitigen sind, weil der reine Sand nicht comprimirbar ist. Wenn dagegen eine Erschütterung erfolgt, so lagern sich die einzelnen Körnchen dichter, wobei ein starkes Setzen eintritt. Dieses Setzen erreicht bei ganz trockenem Sande niemals die äuſserste Grenze. Träufelt man nämlich Wasser darauf, so vermindert sich noch merklich der cubische Inhalt. Dagegen kann man bei starker Benetzung und durch heftiges Umrühren auch wieder den allerlockersten Zustand der Schüttung darstellen und die Körnchen so übereinander legen, daſs sie sich gegenseitig eben nur stützen und bei dem leisesten Stoſse zusammen fallen. Ich nahm rein ausgewaschenen trockenen Seesand und schüttete ihn durch einen Trichter vorsichtig in ein cylindrisches Gefäſs von $1\frac{3}{4}$ Quadratzoll Grundfläche. Die Höhe der Schüttung betrug 6,92 Zoll. Darauf stampfte ich den

Sand durch wiederholtes Einstoſsen eines Drahtes so lange, bis der Draht endlich den Sand nicht mehr durchdringen konnte. Jetzt betrug die Höhe nur noch 6,37 Zoll. Die Dichtigkeit hatte also ungefähr um $\frac{1}{12}$ zugenommen. Durch vorsichtiges Hinzutröpfeln von Wasser, wobei die Luft aus den Zwischenräumen des Sandes vollständig entwich, konnte ich eine Quantität Wasser, die einer Höhe des Cylinders von 2,16 Zoll entsprach, hineinbringen, und indem ich den Sand von Neuem stampfte, betrug seine Höhe nur noch 6,17 Zoll. Das Volum hatte also wieder um $\frac{1}{30}$ abgenommen. Ein fernerer Zusatz von Wasser sammelte sich an der Oberfläche, doch zog er sich beim Umrühren wieder in die dadurch entstehenden Zwischenräume ein, und es war auf solche Art sogar möglich, im Ganzen 3 Cubikzoll Wasser in den Sand zu bringen. Die Höhe des Gemenges betrug alsdann 7,42 Zoll, woher eine gewisse Quantität Luft durch das Umrühren hineingekommen sein muſste.

Die Festigkeit, sowie die Eigenschaft, das Wasser durchzulassen, sind bei diesen verschiedenen Arten der Ablagerung des Sandes sehr verschieden. Compact geschüttet und benetzt widersteht der Sand einem starken Drucke, während die letzterwähnte lose Schüttung dem geringsten Eindrucke nachgiebt. Beide Erscheinungen zeigen sich häufig sehr auffallend an sandigen Meeresufern. Ein niedriger Seestrand, der bei vorhergehenden Stürmen von starkem Wellenschlage getroffen wurde, und noch nicht austrocknete, zeigt eine Festigkeit, die man sonst nur auf chaussirten Wegen findet. Die Wagenräder rollen darüber, ohne eine Spur zu hinterlassen, und kaum erkennt man die Stellen, wo der Pferdehuf aufschlug. Wenn dagegen durch das Steigen des Grundwassers, wie etwa beim Anschwellen der See, aus niedrigen Sandflächen das Wasser aufquillt, alsdann bildet sich jener gefährliche und leicht bewegliche Boden, der unter dem Namen des Triebsandes bekannt ist, worin zuweilen Reisende und noch häufiger Pferde und Vieh verunglücken. Am interessantesten ist die Erscheinung des Triebsandes, wenn derselbe schon vor einigen Wochen sich gebildet hat und das Wasser von seiner Oberseite verschwunden ist, so daſs diese wieder trocken liegt. Man erkennt solche Stelle an ihrer vollkommen horizontalen Lage und an der Abwesenheit jeder Vegetation. Betritt man sie, so fühlt man ein sanftes Schwanken des Bodens, das bei heftigem Auftreten und Springen aber so bedeutend wird, daſs Flächen von

mehreren Ruthen merklich auf und niederschwingen. Zu lange darf ein solcher Versuch nicht fortgesetzt werden, sonst bricht der Boden. Man kann aber leicht auch ohne gewaltsames Einbrechen den Triebsand verschwinden lassen, um ohne Gefahr darüber zu gehen, man darf nämlich nur eine Stange wiederholentlich einstoſsen, so quillt das Wasser mit Heftigkeit heraus und der Sand lagert sich fester. Wenn Pferde oder Menschen hineingerathen, so erfolgt auch augenblicklich das Ausscheiden des Wassers. Es spritzt bei dieser Gelegenheit sogar in starken Strahlen herauf, und der Sand lagert sich um den darin steckenden Gegenstand so fest, daſs eben dadurch das Herauskommen für Pferde und Vieh ohne fremde Hülfe unmöglich wird. Die Oberfläche bedeckt sich bei dieser Gelegenheit mehrere Zoll hoch mit Wasser, und in weitem Umkreise verschwindet die Gefahr vor einem ähnlichen Einsinken. Bis zu welcher Tiefe der Triebsand sich bildet, wird man daraus entnehmen, daſs Pferde nicht selten so tief hineinstürzen, daſs der Sand über ihrem Rücken zusammenschlägt und nur der Kopf frei bleibt. Auf der Frischen Nehrung habe ich selbst diese Erfahrung gemacht.

Wenn der Sand fest gelagert ist, so dringt das Wasser durch denselben zwar hindurch, doch geschieht dieses weit langsamer, als wenn die Sandkörnchen eine lose Stellung wie im Triebsande eingenommen haben. Erfolgt die Durchströmung von oben nach unten, so wird der lockere Zustand bald aufgehoben und es bildet sich eine feste Ablagerung, im umgekehrten Falle verwandelt sich dagegen die feste Ablagerung in eine lose. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man eine Röhre in ein Glas stellt und letzteres rings um die Röhre mit feuchtem Sande so fest anfüllt, daſs man einen Draht nur mit Mühe hineinstoſsen kann. Gieſst man darauf in die über den Sand vortretende Röhre Wasser, so daſs dieses von unten nach oben den Sand durchdringen muſs, um sich ins Gleichgewicht zu setzen, und läſst man es mit dem Drucke von einigen Zollen auf den Sand wirken, so verschwindet sehr schnell die frühere Festigkeit, und jener Draht, den man zuvor nur mit Mühe hineinbringen konnte, sinkt von selbst zu Boden.

Dieser Versuch dürfte in den meisten Fällen die Entstehung des Triebsandes erklären, doch giebt es noch eine andere Veranlassung zur Bildung desselben. Die feste Ablagerung des trocknen Sandes beruht nämlich theils auf der hinreichend sichern gegensei-

tigen Unterstützung und theils auf der Reibung der einzelnen Körnchen. Bei einer geringen Benetzung tritt die Wirkung der Capillar-Attraction noch hinzu, welche den gegenseitigen Druck und sonach die Reibung vermehrt. Wird aber das Wasser so reichlich zugesetzt, daſs die Capillar-Attraction aufhört, wie dieses geschieht, wenn man trocknen Sand in ein mit Wasser gefülltes Gefäſs schüttet, wobei augenscheinlich ein Körnchen nicht mehr an dem andern haftet, so ist die Reibung geringer, als sie bei der trocknen Schüttung war, indem das Wasser sogar wie eine Schmiere wirkt. Diese Verminderung der Reibung beim Zutritt des Wassers bemerkt man sehr deutlich, wenn man die stärksten Böschungen miſst, die trockner Sand und Sandschüttungen unter Wasser annehmen. Für jenen reinen Seesand fand ich im trocknen Zustande die stärkste Neigung gegen den Horizont gleich 35½ Grade, während er unter Wasser sich nicht steiler, als auf 29 Grade stellen lieſs.

Endlich wird der Triebsand auch noch erzeugt, wenn Sandmassen in stehendes Wasser geweht, oder durch Bäche hineingespült werden. Die drei verschiedenen Ursachen, die ich angeführt habe, scheinen indessen noch nicht zu genügen, um die Auflockerung des Sandes bis zu der Tiefe zu erklären, in welcher der Triebsand zuweilen vorkommt, und man muſs wohl die Voraussetzung machen, daſs an manchen Stellen der Sand seine lockere Beschaffenheit seit seiner ersten Ablagerung beibehalten hat. Dieses ist derjenige Triebsand, den man bei allen Bauten mit Recht fürchten muſs, und man wird ihn erkennen, wenn Pfähle mit Leichtigkeit hineindringen, ohne daſs eine Senkung des Wassers in der Baugrube vorgenommen ist, dagegen verwandelt sich auch die festeste Ablagerung in Triebsand, sobald man durch Senkung des Grundwassers die Quellen gewaltsam in der Richtung von unten nach oben hindurchtreibt. Ein fortgesetztes Pumpen kann daher sehr nachtheilige Folgen haben, und einen an sich guten Baugrund vollständig verderben. Man muſs daher im sandigen Boden mit der Anwendung von Schöpfmaschinen äuſserst behutsam sein, und keine starke Senkung des Grundwassers längere Zeit hindurch erzwingen wollen. Das Anwachsen der Quellen und eine sehr bemerkbare zunehmende Unzulänglichkeit der Pumpen pflegt in solchem Falle auch gewöhnlich zu zeigen, daſs die Quellen immer mehr den Grund verschlechtern.

Aehnliche Verhältnisse, wie in dem aufgeschwemmten Boden,

zeigen sich auch in den Gebirgsformationen, und die Bildung der Quellen ist hier zuweilen noch viel auffallender, insofern einige Gebirgsarten dem Wasser einen weit leichteren Durchflufs gestatten, als Kiesablagerungen. Namentlich ist dieses bei manchen Sandsteinen und besonders beim klüftigen Kalk der Fall. In letzterem bilden nicht nur die ursprünglichen Spalten ein zusammenhängendes Netz von offenen Fugen, sondern diese werden auch fortdauernd durch das hindurchfliefsende Wasser erweitert, und so entstehn vollständige Wasserleitungen und sogar weit ausgedehnte unterirdische Bach- und Flufsbetten. Die weiten Höhlen, die man mitunter auf stundenlange Entfernungen verfolgt hat, gehören wenigstens theilweise hierher. Einige derselben werden noch durch starke Bäche durchströmt, wie die Höhle im Thale des Caripe in Peru und manche Höhlen im Adelsberge in Illyrien. Bei andern sind freilich die Oeffnungen nicht so grofs, dafs man sie verfolgen könnte, aber dennoch zeigt sich hin und wieder die Erscheinung, dafs auch gröfsere Körper mit dem Wasser aus dem Boden treten, woraus sich ergiebt, dafs der unterirdische Lauf ohne Unterbrechung eine entsprechende Weite haben mufs. So kamen aus dem Bohrloche bei Tours Saamen von Sumpfpflanzen, Dornenzweige von etwa 1 Zoll Länge, Stücke Wurzeln, kleine Muscheln und dergleichen aus einer Tiefe von 350 Fufs herauf. Durch andere Brunnen sind lebende Fische ausgeworfen, auch hat man beim Abbohren Artesischer Brunnen häufig bemerkt, dafs plötzlich das Gestänge des Bohrers herabsank. Zu Fontainebleau geschah dieses bis auf 24 Fufs, oder die Höhle, die man anbohrte, hatte diese Höhe, und hier, wie in andern Fällen, bemerkte man ein fortgesetztes Schwingen des Gestänges, welches sich nur dadurch erklären läfst, dafs das untere Ende desselben in einen heftigen Strom eintauchte.

Das Vorhandensein solcher Ströme giebt sich aber auch sehr deutlich durch die grofsen Wassermassen zu erkennen, die in manchen Fällen theils vom Boden verschluckt werden und theils aus demselben wieder hervorbrechen. Ein Beispiel hiervon war schon im frühesten Alterthume bekannt. Der Kephissos in Böotien ergiefst sich in den Kopaïschen See, ohne dafs letzterer einen offenen Abflufs hat, nichts desto weniger schwillt der See keineswegs fortwährend an, sondern im Gegentheil verschwindet er im Sommer beinahe ganz, und es zeigen sich alsdann in dem Boden, der zur Kalkfor-

mation gehört, fünf Abzugsöffnungen, die zum Theil so geräumig sind, daſs man hineingehn kann. Aus eben so vielen Ausfluſsmündungen kommt das verschluckte Wasser wieder zum Vorschein, vier derselben liegen östlich in der Entfernung von 3 bis 4 Meilen am Ufer der Meerenge von Negropont, eine fünfte befindet sich in der Nähe des Kopaïschen Sees, und der Fluſs, der daselbst entspringt, führt wieder den Namen Kephissos. Diese natürlichen Abzüge verhindern indessen nicht vollständig die höheren Anschwellungen des Sees, und so hat man schon in der frühesten Zeit zwei künstliche Entwässerungsstollen angelegt, die jedoch gegenwärtig verschüttet sind. Auch der See Phonia in Morea hat keinen offenen Abfluſs. Je nachdem der unterirdische Abzugsgraben geöffnet ist, oder nicht, wechselt auch der Spiegel des Sees, und zwar in solchem Maaſse, daſs er in neuerer Zeit 300 Fuſs höher stand, als früher *).

Besonders gehört hierher der Zirknitzer See in Illyrien, dessen plötzliches Anschwellen und gänzliches Versiegen schon lange ein Gegenstand der Aufmerksamkeit der Physiker gewesen ist. Er liegt in einem rings umschlossenen Bergkessel der Krainer Alpen, ungefähr zwei Meilen östlich von der Kuppe dieses Gebirges, die unter dem Namen des Schneeberges bekannt ist. Seine Ausdehnung wird verschieden angegeben, und ist ohne Zweifel von dem jedesmaligen Zustande der Ausfluſs-Oeffnungen abhängig, sie scheint 1¼ bis 2 Quadratmeilen zu betragen. Das Bette und die Ufer des Sees bestehn aus Kalkfelsen, worüber ein starker Niederschlag aus Thon und vegetabilischer Erde sich gebildet hat. An manchen Stellen ist jedoch der Kalkboden entblöſst, und man bemerkt darin eine groſse Anzahl von kleinen Oeffnungen. Auch befinden sich am Umfange des Sees eine Menge Höhlen, in welche man zum Theil bis 100 Fuſs herabsteigen kann. Alle diese Oeffnungen treten beim Anwachsen und beim Versiegen des Sees in Thätigkeit. Ihre Anzahl, oder vielmehr die Zahl der Hauptgruppen beträgt zwischen 40 und 50. Einige derselben werfen Wasser aus, andere saugen es ein, und die meisten üben in verschiedenen Zeiten beide Functionen aus. Im Allgemeinen werfen die Oeffnungen an der östlichen Seite vorzugsweise das Wasser aus, und die an der westlichen verschlucken es. Bei trockner Jahreszeit flieſsen auch ungefähr in dieser Richtung

*) Poggendorff's Annalen der Physik. Band 38, Heft 2.

manche Quellen über den Boden des Sees hin. Es ist also wahrscheinlich, dafs die Quellen vom Schneeberge gespeist werden. Das Anschwellen und Abfliefsen des Sees erfolgt sehr unregelmäfsig. Im Allgemeinen pflegt zwar der See im Frühjahre trocken zu werden, doch geschieht dieses keineswegs in jedem Jahre und oft bleibt er zwei bis drei Jahre gefüllt. Von 1707 und 1714 wurde er gar nicht trocken, in manchen Jahren füllt er sich dagegen auch gar nicht an. Das Anschwellen erfolgt nie anders, als nach anhaltendem Regen, oder beim Schmelzen eines starken Schneefalls. Alsdann füllt sich aber häufig in wenig Stunden der See, so dafs Leute, die sich gerade darauf befinden, kaum Zeit haben, das Ufer zu erreichen. Einzelne Höhlen am Ufer werfen bei dieser Gelegenheit grofse Wassermassen aus, aber auch die Oeffnungen am Boden werden wirksam, und es spritzen aus denselben mitunter hohe Wasserstrahlen als natürliche Springbrunnen hervor. Das Abfliefsen des Sees erfolgt immer viel langsamer, und selbst unter günstigen Umständen nur in der Zeit von 14 Tagen. Auch hierbei sind einzelne Höhlen besonders thätig, und indem das Wasser denselben zuströmt, führt es grofse Massen Schilf und Rohr, Baumstämme und Fischernachen und überhaupt alle schwimmenden Körper mit sich, welche sich über den Oeffnungen ablagern und dieselben verstopfen. Aus diesem Grunde scheint im Allgemeinen die Höhe der Anschwellung immer zuzunehmen, wenigstens zogen sich die culturfähigen Aecker sonst tiefer in den See, als in späterer Zeit.

Die Veranlassung zu dieser merkwürdigen Erscheinung kann keine andre sein, als eine starke Strömung unter der Erdoberfläche. Bei mäfsigem Zuflusse entspricht das unterirdische Bette der Wassermenge, bei Anschwellungen dagegen verbreitet sich die Inundation bis über die Oberfläche und füllt den See. In den äufseren Höhlen findet man auch, wenn der See leer ist, grofse Wasserbecken und zum Theil selbst fliefsendes Wasser. Diese unterirdischen Bassins sind mit Fischen belebt, die beim Anschwellen des Sees in denselben treten. Die unterirdischen Strömungen geben sich noch auf andere Art zu erkennen, namentlich durch das Einstürzen der Oberfläche, welches erfolgt, sobald die Höhlen sich zu stark verbreiten. Besonders merkwürdig ist auf der westlichen Seite des Sees nach Adelsberg zu im Kamienzwalde ein tiefer Trichter, worin der Strom auf eine kurze Strecke offen fliefst und zum Betriebe einer Säge-

mühle benutzt wird. Die vielen Grotten und Felsbrücken im Adelsberge verdanken diesen Strömungen gleichfalls ihre Entstehung, und ebenso werden dadurch auch die Flüsse gespeist, die in das Adriatische Meer ihren grofsen Wasserreichthum ausgiefsen. Es scheint indessen, dafs ein Theil der Wassermenge des Zirknitzer Sees auch nach dem Norden fliefst, denn die Laibach und andere Zuflüsse der Sau bilden sich aus sehr ergiebigen Quellen, die aus dem Kalkboden hervortreten. *)

Die Orbe, welche am Fufse des Jura im Waadtlande entspringt, durchströmt den gröfseren Lac de Joux und dicht unterhalb desselben den kleinern See gleiches Namens. Sobald sie aus diesem heraustritt, verschwindet sie vor einem Kalkfelsen und erscheint etwa eine halbe Stunde davon am Fufse einer nakten Felswand wieder. Die Oeffnungen, aus welchen sie hier hervorbricht, liegen 680 Fufs unter dem Spiegel jenes Sees. Der Zusammenhang beider Flüsse war schon früher nicht zweifelhaft, doch gab er sich im Jahre 1776 auf eine sehr augenfällige Weise zu erkennen. Die Abzugsöffnungen hatten sich nämlich damals stark verstopft, so dafs der kleinere See zum Nachtheil der umliegenden Ländereien bedeutend anschwoll. Um diesen Uebelstand zu beseitigen und um eine gründliche Reinigung der Schlinggruben vorzunehmen, durchdämmte man die Orbe zwischen beidcn Seen. Der gröfsere See schwoll darauf stark an, durchbrach den Damm und stürzte sich mit Heftigkeit in den kleineren. Bei dieser Gelegenheit wurde das Wasser der unterhalb entspringenden Orbe, welches sonst immer klar ist, stark getrübt. **)

Manche Fälle dieser Art kommen auch im nördlichen Deutschland vor, so entspringt unmittelbar in dem Weserufer, Dölme gegenüber, in dem Kohlenkalksteine ein so kräftiger Bach, dafs derselbe sogleich eine Mühle, die Steinmühle, treibt. Die Oeffnung des Felsens, aus welcher er hervorbricht, ist unmittelbar neben dem Mühlrade.

Besonders verdienen die Quellen der Lippe und Pader in der Umgegend von Paderborn Erwähnung. Die folgenden Angaben über die Reichhaltigkeit beziehn sich auf Messungen, die ich im Sommer 1839 zu einer Zeit anstellte, als es zwar einige Tage hindurch stark

*) T. Gruber's Briefe hydrographischen und physikalischen Inhalts aus Krain. Wien 1781.

**) Poggendorff's Annalen. Band XVI. S. 595.

geregnet hatte, jedoch die Wasserstände in den Flüssen und Bächen nur einem mittleren Sommerwasserstande entsprachen. Die Pader, die bei Neuhaus in die Lippe fällt, entspringt am Fuſse der Anhöhe in Paderborn, worauf der Dom steht. Die Straſsen in dem untern Theile der Stadt werden etwa 6 Zoll hoch von dem Wasser bedeckt, welches an beiden Seiten unter den erhöhten Trottoirs und unter den Häusern hervorbricht. Auf einem Flächenraume von 50 bis 60 Ruthen Länge und 40 Ruthen Breite sammelt sich eine Wassermasse, welche im Stande ist, zehn unterschlächtige neben einander liegende Mühlräder zu treiben. Die Anzahl aller Wasserräder in Paderborn ist noch gröſser, doch führe ich diejenigen nicht mit auf, welche vor oder hinter der Hauptreihe von Mühlen liegen. Das vorbrechende Wasser ist sehr klar und rein und von angenehmem Geschmack, nur nach heftigem Regen werden einige Quellen getrübt. Groſse Anschwellungen ereignen sich nie und ebenso wenig nehmen die Quellen auch nie stark ab. Der ganze Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Wasserstande scheint nur etwa 1 Fuſs zu betragen. An der Neuen Brücke, dicht vor der Stadt, sind alle Quellen vereinigt, ich fand daselbst die Wassermenge gleich 220 Cubikfuſs in der Secunde. Der auf den Charten angegebene kleine Bach, die Raute, hat sich hier noch nicht mit der Pader vereinigt, seine Wassermenge war auch höchst unbedeutend und betrug kaum 1 Cubikfuſs in der Secunde. Die erwähnten 220 Cubikfuſs sind sonach die Wassermenge, die auf einem Flächenraume von kaum 16 Morgen hervorbricht.

Noch interessanter, wenn gleich minder reichhaltig, ist die Quelle der Lippe bei Lippspringe. Neben dem Städtchen dieses Namens erhebt sich ein Plateau etwa 30 Fuſs über den Wiesengrund, das sich nach dem westlichen Abhange des Teutoburger Waldes hinzieht, und dem Anscheine nach ziemlich horizontal liegt, sogar durch eine merkliche Vertiefung noch von der Anhöhe getrennt wird. Diese erhöhte Ebene fällt neben Lippspringe steil ab, und an ihrem Rande liegt die Ruine der alten Tempelburg. Unmittelbar davor befindet sich ein Weiher, der keinen sichtbaren Zufluſs hat. Er ist auf der Seite nach der Wiese durch einen niedrigen Erddamm begrenzt. Seine Länge beträgt etwa 25 Ruthen und seine Breite kaum 5 Ruthen. In der Mitte scheint seine Tiefe sehr bedeutend zu sein, und hier treten die unterirdischen Zuflüsse hinein, welche sich theils durch

die Luftblasen und theils auch dadurch zu erkennen geben, daſs an der südlichen Seite alle Wasserpflanzen von der starken Strömung niedergelegt werden, während sie auf der nördlichen Seite aufrecht stehn. Am südlichen Ende, wo der Weiher in einen Graben mündet, liegt eine Mühle, die drei unterschlächtige Räder und ein Freigerinne hat. Durch letzteres und durch das eine Mahlgerinne flossen in der Secunde 27 Cubikfuſs ab.

Am Fuſse desselben Plateau's, etwa 100 Ruthen davon entfernt in nordöstlicher Richtung, entspringt ein anderer Zufluſs der Lippe, der Jordan, der der Sage nach seinen Namen erhalten, als Carl der Groſse die Sachsen darin taufen lieſs. Unter dem üppig bewachsenen ziemlich steilen Ufer trat früher aus einem natürlichen Gewölbe von etwa 1½ Fuſs Weite der eine Quell hervor und bildete ein tiefes Bassin im Wiesengrunde. Aus dem Boden dieses Bassins sprudelte der zweite Quell auf, und zwar mit solcher Heftigkeit, daſs er an der Oberfläche einen Wasserberg von 3 bis 6 Zoll Höhe bildete, der abwechselnd mit lautem Rauschen stieg und niederfiel. Gegenwärtig existirt diese schöne Quellenbildung nicht mehr. Bei Anlage der Promenaden wurde sie zerstört. Von der Fuſsbrücke aus, die etwa 100 Ruthen unterhalb beider Quellen liegt, maaſs ich die Wassermenge des Jordan gleich 19 Cubikfuſs in der Secunde.

Fragt man, wo diese groſsen Wassermengen herkommen, so giebt die Umgegend von Paderborn hierüber genügenden Aufschluſs. Die kleinen Bäche, die man sowol auf der Straſse nach Gesecke, als nach Lichtenau kreuzt, versiegen im Sommer vollständig, sie führen selbst nach heftigem Regen auch nicht einen Tropfen der Lippe zu, nur bei anhaltend nasser Witterung sammelt sich in ihnen Wasser an. Der in allen Richtungen mit Spalten und Klüften durchzogene Mergelboden im Süden von Paderborn nimmt alles Regenwasser in sich auf, und führt es in unterirdischen Gängen der Lippe und Pader zu. Auf dem Wege nach Lichtenau trifft man zunächst im Haxtergrunde ein Bachbette, welches im Sommer so trocken bleibt, daſs auf der westlichen Seite der Chaussee zwischen den Ackerflächen gar kein Raum für den Abfluſs des Wassers frei gelassen und das Thal in seiner ganzen Breite bestellt wird. Der zweite Bach, den man hier findet, ist die Sauer, die auf der Egge bei Kleinenberg in der Entfernung von 2 Meilen ihre Quellen hat, und deren Bette neben der Chaussee in den Sommermonaten wieder ganz trocken ist.

Verfolgt man dasselbe aber aufwärts, so findet man etwa 300 Ruthen weiter, am untern Ende des Dorfes Grundsteinheim, schon Wasser in dem Bache. Hier ergofs sich etwa ein halber Cubikfufs in der Secunde in eine flache Grube im Kalkboden und verschwand daselbst. Die Wassermenge, die am obern Ende des Dorfes zufliefst, war aber schon viel bedeutender, und weiter aufwärts bei Lichtenau trieb zu derselben Zeit eben dieser Bach einen Mahlgang der dortigen Mühle.

Das Verschwinden dieses sehr bedeutenden Baches wird offenbar noch durch die auffallende Verlängerung seines Laufes befördert. Er entspringt auf der Egge bei Kleinenberg und fliefst etwa zwei Meilen bis Iggenhausen vor Grundsteinheim in nördlicher Richtung, hier ist jedoch das Thal auf der Nordseite geschlossen, und das Bachbette zieht sich ganz dem früheren Laufe entgegen $1\frac{1}{2}$ Meile weit südwestlich fort, bis es bei Atteln in die Altenau fällt, die sich später in die Alme ergiefst. Der unterirdische Lauf ist also wahrscheinlich um drei Meilen kürzer, als das Bachbette.

Von dem Vorhandensein der unterirdischen Wasserläufe in den Umgebungen von Paderborn geben auch die Erdfälle einen sichern Beweis, und namentlich ereignen sich solche nicht selten westlich von Paderborn. Man sah früher neben der Strafse nach Driburg mehrere derselben, die zum Theil eingefriedigt werden mufsten, um zu verhindern, dafs nicht Vieh herabstürzen möchte. Auch in den nahen Steinbrüchen findet man häufig röhrenförmige Canäle, die ohne Zweifel in früherer Zeit vom unterirdischen Wasser durchströmt und dabei nach und nach ziemlich regelmäfsig erweitert wurden.

Aehnliche Verhältnisse kommen selbst bei gröfseren Flüssen vor. Die Drome in der Normandie verschwindet bald nach ihrem Entstehn in einer weiten Wiese und kommt später als starker Bach wieder hervor. Dasselbe geschieht mit der Maafs bei Bazailles ohnfern Beaumont. Die Guadiana verliert sich in der Provinz La Mancha, nachdem sie schon 8 Meilen weit geflossen ist, und kommt erst 4 Meilen unterhalb wieder zum Vorschein. Sehr auffallend sind auch die Stromstrecken des Santa Fé und anderer kleinerer Flüsse im nördlichen Florida, wo wieder ein Kalkgebirge die Wassermassen verschluckt und meilenweit unterirdisch abführt.

Dafs manche von diesen Wasserläufen an der Oberfläche der Erde gar nicht wieder erscheinen, sondern unmittelbar dem Meere

zugeführt werden, darf nicht befremden, und es erklärt sich daraus die auffallende Erscheinung, dafs hin und wieder im Ocean süfses Wasser angetroffen wird, ohne dafs ein sichtbarer Strom in der Nähe mündet. So brechen im Meerbusen von Xagua, auf der Südseite von Cuba, in der Entfernung von 2 bis 3 Seemeilen von der Küste, Quellen süfsen Wassers hervor, und Buchanan fand im Indischen Meere sogar in einer Entfernung von 100 Seemeilen von der Küste von Chittagong süfses Wasser, welches vermöge des geringeren specifischen Gewichts auf die Oberfläche des Meeres trat. Ebenso bricht bei Astros in dem Meerbusen von Nauplia in der Entfernung von etwa 1000 Fufs ein starker Strom hervor, woselbst das Aufwirbeln und Auftreiben des Sandes bei ruhigem Wetter sehr auffallend bemerkt wird. Dasselbe geschieht im Meerbusen von Spezzia, wo sich durch die Gewalt des aufsteigenden Strahles sogar eine merkliche Erhöhung zu erkennen giebt.

Die Wassermassen, welche durch die Spalten und Fugen eines festen Gesteins abgeführt werden, treffen zuweilen an den Stellen, wo sie an die Oberfläche treten, einen so engen Ausweg, dafs sie springende Strahlen oder natürliche Springbrunnen bilden. Die Fälle dieser Art sind indessen nur selten. So spritzt das Wasser am Fufse des Chatagna-Berges im Jura 13 Fufs hoch hervor, und dasselbe thut der Quell von Royat im Fontanat-Thale.

Die grofsartigste Erscheinung dieser Art ist der Geiser auf Island. Derselbe bildet einen intermittirenden Quell, der gewöhnlich nicht fliefst, aber alle 2 Stunden in einem Strahle von 20 Fufs Höhe ausbricht. Die Haupteruptionen erfolgen dagegen in Zwischenzeiten von 30 Stunden. Unter furchtbarem Getöse und von heftigen Erschütterungen begleitet steigt alsdann ein Wasserstrahl von 10 Fufs Durchmesser empor, der bald die Höhe von 80 bis 90 Fufs erreicht, und indem er hierauf langsam abnimmt, nach 10 Minuten verschwindet. Die oben entwickelte Quellentheorie kann diese Erscheinung nicht erklären. Die hohe Temperatur des Wassers, die während der Eruption sich bis 72 und sogar bis 80 Grad steigert, zeigt auch deutlich, dafs hier vorzugsweise die Spannung der Wasserdämpfe wirksam ist. Der Hecla befindet sich in der Nähe und erhitzt den Boden so stark, dafs ringsumher Dämpfe hervorbrechen. Auf diese Art wird auch der mächtige Quell, der den Geiser speist, bis zum Sieden erhitzt, und das Wasser desselben tritt vielleicht in ein wei-

tes Bassin, das am untern Ende eine Oeffnung hat, durch welche bei niedrigem Wasserstande der Dampf entweichen kann. Sobald aber diese Oeffnung vom zuströmenden Wasser gesperrt wird, so sammeln sich die Dämpfe an, und ihre Spannung nimmt mit der steigenden Temperatur des Wassers zu. Das alsdann erfolgende Ausströmen in mächtigen Strahlen erklärt man unter Voraussetzung eigenthümlicher Gestaltungen der umschliefsenden Wände in gleicher Weise, wie Dampfkessel bei zunehmender Spannung sich plötzlich durch das Speiserohr entleeren. Dabei tritt keine allmählige Ausgleichung ein, sondern wie bei der Entleerung des Kessels die Dampfbildung sich steigert, so erfolgt die Ausströmung mit zunehmender Heftigkeit. *)

Viel bekannter ist ein anderer heifser Quell, der gleichfalls in springendem Strahle mündet. Dieses ist der Sprudel in Carlsbad. Obwohl er nicht aus einer von der Natur gebildeten Oeffnung, vielmehr aus einer eingestellten hölzernen Röhre ausspritzt, so scheint er doch auch früher, ehe er eingefafst war, als Strahl vorgetreten zu sein, wie dieses bei verschiedenen Durchbrüchen in neuerer Zeit auch der Fall gewesen ist, und wobei er sogar eine viel gröfsere Höhe erreichte. Bei diesem Quell tritt die eigenthümliche Erscheinung ein, dafs die Oeffnungen, durch welche der Ausflufs erfolgt, nicht etwa mit der Zeit sich erweitern, sondern vielmehr verengen, und sogar sich vollständig schliefsen, wenn sie nicht künstlich aufgebohrt werden.

In der Granit-Formation befinden sich die weit ausgedehnten, mit Wasser gefüllten Höhlen, die sich unter einem grofsen Theile der Stadt hinziehn und die übrigen darin vortretenden Heil-Quellen speisen. Diese Quellen haben qualitativ nahe dieselben chemischen Bestandtheile wie der Sprudel, woraus sich ihr gemeinschaftlicher Ursprung ergiebt, nur ist ihre Temperatur niedriger und sie sind mehr oder weniger mit reinem Wasser versetzt. Der Gehalt an Kohlensäure vermindert sich aber bei zunehmender Temperatur und ist im Sprudel am geringsten, woselbst das austretende Wasser die Temperatur von nahe 59 Grad Réaumur hat. Das Wasser ist vorzugsweise mit schwefelsaurem Kali und Natron, wie mit salzsaurem und kohlensaurem Natron, aufserdem aber auch mit kohlen-

*) Karsten's Archiv für Mineralogie. Band IX.

saurem Kalk versetzt, wozu noch in kleineren Quantitäten eine Menge anderer Stoffe kommen. Indem das Wasser beim Austritt an die Oberfläche sich abkühlt und die Kohlensäure ausstöfst, schlägt ein grofser Theil dieser Beimischung nieder und bildet den sogenannten Sprudelstein, der bei seiner Festigkeit und verschiedenartigen Färbung vielfach zu Schmucksachen verarbeitet wird. Er überdeckt jene unterirdischen Wasserhöhlen. Im Bette der Tepel liegt er in grofser Ausdehnung frei zu Tage, bei Fundirungen in der Stadt hat man ihn aber in verschiedenen Lagen über einander in viel gröfserer Höhe angetroffen, woraus sich ergiebt, dafs in früherer Zeit, als sich das Bette der Tepel nicht so tief eingeschnitten hatte, der Sprudel in gröfserer Höhe ausgetreten ist.

Auf der Festigkeit der erwähnten Decke beruht die Existenz der sämmtlichen Quellen. Im Winter 1774 brach die Decke plötzlich durch und das unterirdische Wasser ergofs sich in die Tepel, die dadurch 3 bis 4 Fufs hoch anschwoll. Der Sprudel und alle übrigen Quellen hörten sogleich auf zu fliefsen. Nur nach vielfachen mifsglückten Versuchen gelang es endlich durch Sandsäcke und eingetriebene Hölzer den Bruch zu schliefsen. Die Natur unterstützte aber wesentlich dieses Bemühn, indem die Fugen sich bald mit Sprudelstein versetzten und der wasserdichte Verschlufs sich von selbst bildete. Seit jener Zeit ist die frei liegende Decke im Flusse durch einen Holzbelag geschützt, um namentlich Zerstörungen bei starken Eisgängen zu verhindern. Wo sich aber Spalten und Ausflüsse darin bilden, werden diese sogleich durch Keile, die mit Werg umgeben sind, geschlossen. Die Bildung des Sprudelsteines erfolgt dabei sehr schnell und bewirkt den vollständigen Abschlufs.

Zur gehörigen Sicherung der Quellen mufs man aufserdem auch auf die Mäfsigung des Druckes oder der Spannung der Dämpfe und Gase unter der Decke grofse Sorgfalt verwenden. Sobald der Sprudel mehr als etwa 5 Fufs hoch über die Steigeröhre sich erhebt, so ist dieses ein Zeichen von ungewöhnlicher Anspannung der Dämpfe und es tritt die Gefahr ein, dafs die Decke springen möchte. Um dieses zu verhindern, ist dieselbe an mehreren Stellen durchbohrt, wo gleichfalls Wasser und Dämpfe fortwährend austreten, wo aber wieder der Sprudelstein sich schnell bildet. Man mufs daher die Oeffnungen in jedem Jahre viermal durch Aufbohren räumen.

Die Oeffnung, durch welche der Sprudel austritt, mufs gleich-

falls häufig aufgebohrt werden, sie ist in der Schale des Sprudelsteins ungefähr 10 Fuſs tief, und darüber erhebt sich die 7 Fuſs lange und im Lichten 5 Zoll weite hölzerne Röhre, aus welcher der Quell ausspritzt. Auch diese Röhre muſs jährlich durch eine andre ersetzt werden, da der Sprudelstein sie gleichfalls nach und nach verengt. Man hat es sonach ganz in seiner Gewalt, den Sprudel höher ansteigen zu lassen, wie dieses in früherer Zeit auch geschah, doch ist man hiervon zurückgekommen, um die Decke keiner Gefahr auszusetzen. Der Strahl erhebt sich aber keineswegs zusammenhängend, wie derjenige eines Springbrunnens unter constantem Wasserdrucke, vielmehr bricht er wegen der vielen Gase, die er mit sich führt, schäumend und stoſsweise hervor. In der Minute wiederholen sich etwa 40 Stöſse, die zusammen ungefähr 11 Cubikfuſs Wasser aufwerfen. *)

Unter den Erscheinungen die in der Nähe des Sprudels und selbst in der ganzen Ausdehnung des Quellengebietes auftreten, ist noch die Ansammlung des kohlensauern Gases zu erwähnen, das man in Kellern und andern verschlossnen Räumen vielfach bemerkt, und das auch wiederholentlich zu Unglücksfällen Veranlassung gegeben hat. In dem Souterrain neben der Sprudelhalle lagert es etwa in einer 2 Fuſs hohen Schicht über dem Boden, ein Licht, welches man hineintaucht, erlöscht plötzlich.

Fragt man nach der Ursache, die das Austreten der Quellen und das starke Aufspritzen des Sprudels veranlaſst, so liegt die Erklärung nahe. Das Wasser, welches sich in den höheren Umgebungen ansammelt, übt den Druck aus. Ob die Vermuthung richtig ist, daſs das Wasser bis zu derjenigen Tiefe in den Boden eindringt, wo bei der allmähligen Erwärmung, die man aus andern Erfahrungen kennt, die Temperatur dem Siedepunkte sich nähert, muſs dahingestellt bleiben. Indem aber der Basalt vielfach neben Carlsbad auftritt, dürfte man auch annehmen, daſs der Boden in geringerer Tiefe noch aus der Zeit der vulkanischen Thätigkeit den hohen Wärmegrad behalten hat. Jedenfalls konnte die Erscheinung sich

*) Eine sehr ausführliche Beschreibung der Carlsbader Quellen und der Vorrichtungen zu ihrer Sicherung, wie sie noch gegenwärtig bestehn, enthält das 1789 erschienene Werk von D. Becher, betitelt: Neue Abhandlungen über das Carlsbad.

aber nur durch die dauernde Absetzung des Sprudelsteins, der die festen und wasserdichten Decken darstellt, so auffallend ausbilden.

Intermittirende Quellen, oder solche, die in gewissen kurzen Perioden abwechselnd fliefsen und versiegen, kommen in verschiedenen Gebirgs-Formationen, wenn auch nur selten, vor. Bei Como, sowie auch neben der Abtei Haute Combe in Savoyen und bei Puis Gros in der Nähe von Chambery giebt es dergleichen. Die Periode, welche bei den einzelnen Quellen ziemlich constant ist, beträgt 30 Minuten bis mehrere Stunden. Auch bei Altenbecken ohnfern Paderborn soll im vorigen Jahrhunderte der Quell intermittirend geflossen sein. Diese Erscheinung pflegt man durch Voraussetzung unterirdischer Bassins zu erklären, die bei gleichförmigem Zuflusse sich durch heberförmige Abzugscanäle entleeren.

§. 8.
Brunnen mit weiten Kesseln.

Aus dem Vorstehenden ergiebt sich, dafs das Hervortreten der Quellen an der Erdoberfläche theils von der relativen Höhenlage und theils von der Formation des Bodens abhängt. An vielen Stellen ist die Oberfläche wasserarm, wenngleich grofse Wassermassen ebendaselbst unterirdisch sich bewegen. Um diese an einem beliebigen Punkte nutzbar zu machen und in einem zugänglichen Reservoir anzusammeln, werden Brunnen ausgeführt. Aber auch selbst da, wo natürliche Quellen hervorbrechen, ist ein Auffangen derselben und eine Abschliefsung des unreinen Tagewassers gemeinhin nothwendig. Daher kommen auch in dem letzten Falle Anlagen vor, welche den Brunnen sehr ähnlich sind und sich nur durch die geringere Tiefe von diesen unterscheiden. Von beiden soll hier die Rede sein, doch müssen die Artesischen Brunnen besonders behandelt werden, indem wegen der geringen Weite und grofsen Tiefe ihre Ausführung wesentlich verschieden ist.

Es ereignet sich häufig, und dieses ist in sandigen Gegenden sogar der gewöhnliche Fall, dafs die wasserhaltende Schicht durch keine undurchdringliche überdeckt ist, sondern sich bis zur Erdoberfläche fortsetzt. Indem sie aber nicht vollständig gesättigt ist,

so dringt kein Wasser von selbst hervor, und man mufs bis zu einer gewissen Tiefe herabgehn, bevor man das sogenannte Grundwasser erreicht, oder bevor im Brunnenkessel sich Wasser ansammelt. Das Grundwasser steht in der Regel nicht viel höher, als das Niveau der Flüsse und Seen in der Nähe, und es findet sonach in den wasserhaltenden Schichten nicht sowol ein merkliches Strömen, als vielmehr nur eine Ansammlung von stehendem Wasser statt. Daraus erklären sich manche Erscheinungen, die bei Brunnenanlagen unter diesen Verhältnissen sich zu zeigen pflegen, wie zum Beispiel das Steigen des Grundwassers beim Anschwellen der Ströme, das jedoch nicht gleichzeitig, sondern nach Maafsgabe der Entfernung erst später erfolgt. In den niedrig belegenen Stadt-Theilen von Berlin werden die Keller gewöhnlich nicht früher inundirt, als bis der Wasserstand der Spree sich schon merklich senkt.

Bei einem minder durchdringlichen Boden und auf einem festen Untergrunde erreicht das Grundwasser häufig eine bedeutende Höhe im Vergleiche zum Niveau der daneben befindlichen Flüsse. So giebt es in den Vorstädten von Paris, die grofsentheils weit über dem Spiegel der Seine liegen, viele Brunnen, die nur das Tagewasser sammeln, welches eben wegen des undurchdringlichen Untergrundes sich nicht tief einziehn kann. Auch die eigentliche Stadt hatte noch zur Zeit Franz I. eine Menge gewöhnlicher Brunnen, die reichliches und gutes Wasser gaben. Seitdem aber die freien Plätze, Höfe und Gärten verschwunden und die Strafsen viel dichter an einander gelegt, auch alle Räume, die noch unbebaut blieben, gepflastert und mit Abzugsrinnen versehn sind, so kann der Regen nicht mehr in den Boden dringen und die Brunnen sind versiegt. Dasselbe ist auch in London seit dem Anfange des vorigen Jahrhunderts geschehn.

In Paris tritt zuweilen eine andere sehr auffallende Erscheinung ein. Ganz unabhängig von dem Stande der Seine und weit über dem Spiegel derselben wächst nämlich zuweilen, und zwar durchschnittlich alle 30 Jahre einmal das Grundwasser so an, dafs die Keller in einzelnen Stadttheilen sich mit Wasser füllen. Die Erfahrung, dafs wenigstens zwei sehr nasse Jahre einer solchen unterirdischen Inundation vorangehn müssen, erklärt ihren Ursprung. Die obere Erdschicht, welche nämlich in früherer Zeit die Brunnen speiste, erhält jetzt zwar durch das unmittelbar darauf fallende

Wasser keine starken Zuflüsse mehr, aber wenn die benachbarten höher liegenden Plateaus grofse Wassermassen aufgenommen haben, so fliefsen diese unter der Oberfläche in jene Stadt-Theile über. *)

Wie langsam sich das Wasser im Sande bewegt, giebt sich schon dadurch zu erkennen, dafs manche Quellen erst geraume Zeit nach einem Regen sich verstärken, indem wegen des langen und beengten unterirdischen Laufes ihre Zuflüsse sie nicht früher erreichen, dasselbe zeigt sich auch an vielen Erscheinungen, die man bei Brunnen im sandigen Boden wahrnimmt. So wird bei neu angelegten Brunnen erst nach Monaten und selbst nach Jahren der Sand in ihren Umgebungen rein ausgewaschen, worauf sie brauchbares Wasser geben. Wie langsam das Wasser sich bewegt, zeigte besonders die folgende Thatsache. Ein Fabrikant in der Vorstadt St. Marceau bei Paris wollte das heifse Wasser, welches der Condensator der Dampfmaschine lieferte, ohne Kosten entfernen, und leitete es daher in einen Brunnen seines Hofes, worin der Wasserstand tief genug war, um kein Ueberströmen befürchten zu lassen. Einige Monate hindurch schien diese Einrichtung auch keinen Nachtheil zur Folge zu haben, doch später bemerkten die Nachbarn, dafs die Temperatur ihrer Brunnen allmählig zunahm und das Wasser dadurch zu vielen Zwecken unbrauchbar wurde. Auf die deshalb erhobene Beschwerde wurde dem Fabrikanten die fernere Ableitung des warmen Wasser in den Brunnen untersagt, es dauerte jedoch achtzehn Monate, bis die andern Brunnen ihre frühere Temperatur wieder annahmen. **)

Die meisten Quellen, welche unsere Brunnen speisen, werden im Sand- oder Kiesboden gefunden, und selbst diejenigen, welche aus festem Gesteine kommen, treten gewöhnlich in Sand- oder Kiesschichten aus, indem das Tagewasser feine Erdtheilchen und Sand hinzuführt, von denen die erstern durch das durchströmende Quellwasser entfernt werden, letzterer aber liegen bleibt und sich mit weiten Zwischenräumen, oder in Form von Triebsand ablagert. Dieser Umstand ist für das Austreten von Quellwasser sehr günstig, aber er bedingt eine sichere Umschliefsung der Seitenwände, damit nicht immer neue Sand- und Erdmassen hineinstürzen, was bei dem auf-

*) *Girard, sur les Inondations souterrains de Paris.* Paris 1818.

**) *Annales des ponts et chaussées.* 1833. II. *pag.* 333.

gelockerten Boden leicht geschieht. Es kommt daher bei einer Brunnenanlage nur darauf an, die Oeffnung bis zur wasserführenden Schicht darzustellen und die Seitenwände gegen das Einstürzen zu sichern.

Um zu erfahren, wo die wasserhaltenden Schichten in der geringsten Tiefe vorkommen, und wo man sonach mit den wenigsten Kosten einen Brunnen ausführen kann, sind manche Regeln aufgestellt, welche sich aufser einer gewifs sehr zweckmäfsigen Untersuchung der geognostischen Verhältnisse des Bodens, auch auf die Feuchtigkeit beziehn. Zu dem letzten Zwecke dient vorzugsweise die sorgfältige Beobachtung der Vegetation. Hierauf legte Elckingston ein besonderes Gewicht. Das Vorkommen von Binsen und andern Sumpf-Pflanzen liefs ihn oft sehr richtig die Stelle erkennen, wo die wasserhaltende Schicht am nächsten der Erdoberfläche war. In ebenen Gegenden, woselbst man annehmen darf, dafs die wasserführenden Schichten nahe horizontal liegen, ist die Wahl der Brunnenstelle nur von den wirthschaftlichen Rücksichten abhängig.

Am einfachsten gestaltet sich der Brunnen, wenn es nur darauf ankommt, einen Quell einzufassen, der am Fufse einer Anhöhe hervortritt. Die Sand- oder Kies-Schicht bildet alsdann schon die Ausflufs-Oeffnung, ein tieferes Ausgraben ist daher nur in soweit nothwendig, als der zum Schöpfen erforderliche Wasserstand im Kessel sich darstellen mufs. Man pflegt indessen die Sohle abzupflastern und den Kessel rings umher mit Mauern einzufassen, auch für eine hinreichend befestigte Abflufsrinne zu sorgen. Häufig wird aber selbst bei solchen Brunnen, die keine Wasserleitung speisen, der Kessel überwölbt und mit Erde überdeckt, um theils die Verunreinigung, und theils die zu starke Erwärmung oder Abkühlung des Wassers zu verhindern. Bei Gelegenheit der Speisung von Röhrenleitungen werden Anlagen dieser Art näher beschrieben werden.

Zuweilen sind die natürlichen Quellen stark vertheilt, indem die wasserhaltende Schicht in grofser Ausdehnung und in gleicher Höhe die Erdoberfläche trifft. Um in diesem Falle die ganze Wassermenge abzufangen, stellt man gewöhnlich einen unterirdischen Kanal dar. Derselbe schneidet die sämmtlichen Wasserläufe, und damit er diese mit Leichtigkeit aufnehmen kann, wird die Mauer, die ihn auf der Bergseite begränzt, trocken oder mit offenen Fugen ausgeführt. Hierbei kann es jedoch nicht fehlen, dafs Erd- und Sand-

theilchen mit hineindringen, die man durch besondere Schlammfänge entfernen muſs. Zuweilen wird das Wasser auch nicht in dem offenen Graben, sondern in Drain-Röhren aufgefangen, die aber, um das Eintreiben von Erde zu verhindern, nicht stumpf zusammengestoſsen sind, sondern mit Muffen über einander greifen.

Als Beispiel einer weit ausgedehnten Zuleitung dieser Art, wodurch man einzelne sehr vertheilte Wasseradern aufgefangen hat, können die Tunnels angeführt werden, die sich unter Liverpool hinziehn, um daselbst die Quellen zu sammeln, welche die Wasserleitungen speisen. Die Stadt liegt am hohen Ufer des Mersey, welches aus buntem Sandsteine besteht. Es entspringen darin nicht reichhaltige Quellen, sondern das Wasser tritt nur in feinen Adern aus dem Gestein hervor. Um dieses möglichst vollständig aufzufangen, sind Stollen oder Tunnels in der Länge von 100 bis 250 Fuſs in den Berg getrieben, die das Wasser den Dampfmaschinen zuführen, die es in die Speisebassins der Röhrenleitung heben.

Je tiefer die wasserhaltenden Schichten liegen, um so schwieriger wird die Ausführung der Brunnen. Ist der Sand und Kies mit Thon- oder Lehmboden bedeckt, so wird der Quell durch unmittelbares Aufgraben eröffnet. Nach Maaſsgabe der Tiefe der Grube muſs man dieselbe oben erweitern, auch wohl Absteifungen vornehmen, um das Einstürzen der Wände während des Baues zu verhindern. Das Ausgraben selbst wird bei einem Boden der erwähnten Art gewöhnlich durch keinen starken Wasserzudrang erschwert, indem man nur so tief zu graben braucht, bis sich das Wasser zeigt, sobald man aber die Kiesschicht erreicht, füllt sich die Grube zuweilen mit groſser Heftigkeit an. Aus der Geschwindigkeit, womit das Wasser aufsteigt, und zum Theil auch aus der Höhe, die es erreicht, kann man auf die Reichhaltigkeit des eröffneten Quells schlieſsen und darnach beurtheilen, ob man mit demselben sich begnügen darf, oder ob man noch tiefer herabgehn muſs. Das Letzte ist nothwendig, wenn das Wasser auffallend unrein ist, und in diesem Falle tritt die Schwierigkeit hinzu, die weitere Ausgrabung unter einem starken Zudrange von Wasser vornehmen zu müssen, auch ist alsdann bei Aufführung des Brunnenkessels darauf Rücksicht zu nehmen, daſs derselbe wasserdicht wird, um das Eintreten dieses obern Quells zu verhindern. Dieser Umstand kommt jedoch bei gewöhnlichen Brunnen in aufgeschwemmtem Boden nicht leicht vor,

indem das in gröfserer Tiefe durch den Sand zufliefsende Wasser ziemlich rein ist, oder man erwarten darf, dafs es mit der Zeit an Reinheit gewinnt.

Hat man die Grube so tief herabgeführt, dafs eine weitere Vertiefung überflüssig erscheint, so mufs die Einfassung dargestellt werden, und diese Arbeit wird namentlich anfangs durch den starken Wasserzudrang erschwert. Durch Schöpfmaschinen und gewöhnlich durch blofses Ausschöpfen mit Eimern und Aufwinden derselben senkt man den Wasserspiegel so weit, dafs die Sohle der Grube wenigstens nicht tief unter demselben liegt. Dieses Verfahren pflegt meist schon zum Ziele zu führen, da der starke Zudrang des Wassers sich bald etwas mäfsigt. Die aufgeschlossene Schicht ist nämlich ganz mit Wasser gesättigt, sobald sie aber den Wasserreichthum, den sie ursprünglich enthielt, zur ersten Füllung des Brunnens abgegeben hat, so fliefst das Wasser aus den entfernten Theilen minder schnell hinzu, und sonach pflegt die Reichhaltigkeit der Quellen bei ihrer ersten Eröffnung am stärksten zu sein.

Wenn die Brunnen nur mit Holz eingefafst werden, was wegen der geringen Dauer nicht zu empfehlen ist, so pflegt man gemeinhin aus Halbholz viereckige Brunnenkränze übereinander zu legen und dieselben durch Anstampfen der Hinterfüllungserde in ihrer Lage zu sichern. In manchen Gegenden stellt man auch Eckständer in die Brunnengrube, spreizt dieselben durch zwischengeschobene und leicht befestigte Riegel auseinander und verzapft sie oben in Rahmstücke, welche den obern Theil der Brunneneinfassung bilden. Gegen die Ständer werden alsdann von aufsen Bohlenstücke gelehnt, die wenigstens unten keine andere Befestigung als die Hinterfüllungserde erhalten. Diese Constructionsart, die freilich bei der Ausführung manche Bequemlichkeit bietet, hat den grofsen Nachtheil, dafs Reparaturen viel schwieriger, als bei Anwendung der Brunnenkränze auszuführen sind. Indem nämlich das Holz nur über dem Wasserspiegel bald schadhaft zu werden pflegt, so ist eine Erneuung der untersten Brunnenkränze nicht leicht erforderlich und man braucht nur die über Wasser liegenden von Zeit zu Zeit durch neue zu ersetzen. Bei der letzten Construction wird es dagegen nöthig, sobald die Ständer anfaulen, alles Holzwerk bis zur Sohle des Brunnens herauszunehmen.

Viel dauerhafter sind die massiven Brunnenkessel, die man

in cylindrischer Form auszuführen pflegt. Man fundirt sie gemeinhin auf starke hölzerne Brunnenkränze. Dauerhafte und hart gebrannte Steine sind hierbei vorzugsweise nöthig, dieselben müssen aber eine der Weite des Brunnens entsprechende Form haben, damit die Fugen nach aufsen nicht klaffen, wodurch die Solidität leiden würde. Eine solche Gestalt läfst sich indessen durch blofses Zuhauen nicht leicht geben, da jeder einzelne Stein in dieser Art behauen werden müfste. Sie erhalten daher schon beim Formen die keilförmige Gestalt. Dieses sind die sogenannten Brunnensteine. Dergleichen Brunnenkessel werden zuweilen in Mörtel, gewöhnlich aber nur in Lehm einen Stein stark aufgeführt. Dafs Brunnen aus festen Werksteinen gleichfalls sehr solide und dauerhaft sind, bedarf kaum der Erwähnung, doch beschränkt sich die Anwendung derselben gemeinhin nur auf die obere Einfassung. Es giebt endlich auch eine grofse Menge und zum Theil sehr tiefer Brunnen, die aus Bruchsteinen ausgeführt sind. Namentlich existiren viele dergleichen aus früherer Zeit, und sie sind oft aus Granit, also aus einer Felsart erbaut, die wenig lagerhaft bricht, dagegen verdanken sie ihre lange Erhaltung zum Theil der sehr bedeutenden Mauerstärke.

Bei einem Boden, der in geringer Tiefe schon von Wasser durchzogen ist, wird die Ausführung tiefer Brunnen in der erwähnten Art unmöglich, indem der Wasserzudrang zu stark ist, als dafs er selbst durch kräftige Schöpfmaschinen beseitigt werden könnte, und es tritt alsdann noch die neue Schwierigkeit hinzu, dafs die Zuflüsse von der Seite den Einsturz der Wände zur Folge haben. Silberschlag erzählt, wie bei einem Brunnen, den er in feinem Sande unter das Niveau eines in der Nähe befindlichen Flusses herabführen wollte, das Ausheben des Sandes beinahe gar keine Vertiefung des Brunnens zur Folge hatte, indem die einbrechenden Quellen theils wegen der Auflockerung des Grundes und theils wegen des Einsturzes der Seitenwände die Grube immer aufs Neue füllten. Diese Uebelstände wurden jedoch beseitigt, und eine Vertiefung nach Maafsgabe der ausgebrachten Erdmassen erfolgte wirklich, als Silberschlag dem Hervordringen der Quellen dadurch vorbeugte, dafs er in die Grube reichlich Wasser hineingiefsen liefs. Dieses Mittel setzt aber immer noch ein Arbeiten unter Wasser voraus, und man wird daher bei Anwendung desselben nur wenig unter das Grundwasser herab-

kommen können, indem weiterhin das Verlegen der Brunnenkränze nicht mehr mit der nöthigen Sorgfalt erfolgen kann.

In Fällen dieser Art finden die Senkbrunnen ihre eigentliche Anwendung. Man gräbt bis zum Grundwasser, verlegt alsdann einen in sich fest verbundenen hölzernen Brunnenkranz und führt über demselben den massiven Brunnenkessel bis zu einer solchen Höhe auf, daſs derselbe hinreichend schwer wird, um ein leichtes Einsinken zuzulassen, ohne jedoch das Herausschaffen des ausgehobenen Sandes zu sehr zu erschweren. Sodann wird mittelst des Sackbohrers der Brunnen vertieft, und da das zudringende Wasser auch hier den Grund auflockert, so senkt der Brunnenkessel sich langsam herab und man kann durch wiederholtes Aufmauern ihn bis zu groſsen Tiefen herabführen. Der Vortheil dieses Verfahrens besteht darin, daſs man weit unter das Grundwasser herabgeht, ohne ein Ausschöpfen vornehmen zu dürfen, dabei muſs aber der Boden leichter Sandboden und vom Wasser stark durchzogen sein, denn sobald keine Auflockerung desselben unter dem Brunnenkessel erfolgt, so sinkt er auch nicht herab.

Fig. 7 zeigt die Zusammenstellung der Apparate, deren man sich bei der Ausführung der Senkbrunnen zu bedienen pflegt. Der hölzerne Brunnenkranz *A* besteht aus doppelten übereinander genagelten Bohlenstücken, mit gehöriger Versetzung der Fugen, wie Fig. 8 in perspectivischer Ansicht darstellt. Dieser Kranz muſs in seiner Breite mit der Länge der Brunnensteine übereinstimmen, damit er weder von innen, noch von auſsen vor die Mauer tritt. Seine Stärke und die Anzahl der Felgenstücke, woraus er zusammengesetzt ist, richtet sich nach der lichten Weite des Brunnens. Beträgt dieselbe, wie hier angenommen ist, 3½ Fuſs, so können die einzelnen Felgen noch ganze Quadranten umfassen und brauchen nur 1½ Zoll stark zu sein. Der Brunnenkessel *B* wird aus den bereits erwähnten keilförmigen Brunnensteinen in gehörigem Verbande ausgeführt. Vortheilhaft ist es, hydraulischen Mörtel dabei anzuwenden, weil sonst die Erhärtung nicht sobald erfolgt und das Mauerwerk während des Versenkens sich trennen könnte. Auf dem Brunnenkessel muſs eine Rüstung angebracht werden, damit die Arbeiter den Bohrer gehörig einstellen und drehen können. Man pflegt diese Rüstung auch noch durch Steine zu beschweren, wie die Figur zeigt.

Der Bohrer, der in Fig. 9 in gröſserem Maaſsstabe gezeichnet

ist, besteht theils aus einem weit vortretenden starken eisernen Dorne und theils aus einem seitwärts angebrachten Bügel, woran ein leinener Sack befestigt ist. Der erstere dringt leicht in den Boden ein und bildet den untern Stützpunkt, um welchen der Bügel gedreht wird. Der Bügel, häufig nur durch Schraubenbolzen befestigt, ist mit einer Schneide versehn, und zwar befindet sich dieselbe an seinem äufsern Rande, damit der nachfolgende Theil, woran der Sack befestigt ist, keinen Widerstand erfährt. Der Sack hat eine solche Gröfse, dafs er nahe einen Cubikfufs fafst, doch wird er gewöhnlich noch nicht halb gefüllt herausgebracht. Am obern Theile des Bügels befindet sich ein Ring, der mit einem Wirbel versehn ist, und an diesen wird das Tau zum Herausheben des gefüllten Bohrers befestigt. Der Wirbel ist dabei insofern nothwendig, als sonst das Tau beim Bohren immer in derselben Richtung gedreht werden und daher Knoten schlagen würde. Der Hebel, wodurch die Drehung erfolgt, hat wegen der beschränkten Gröfse des Gerüstes meist nur eine Länge von etwa 3 Fufs und wird durch ein Tau an den Stiel des Bohrers befestigt. Nachdem der Bohrer herabgelassen und der Hebel in der gehörigen Höhe angebracht ist, fassen zwei Arbeiter an den letztern und drehen den Bohrer langsam in solcher Richtung, dafs die Schneide des Bügels zur Wirksamkeit kommt. Sie gehen dabei auf dem Gerüste im Kreise herum und sind zugleich bemüht, durch Herabdrücken des Hebels den Bohrer scharf eingreifen zu lassen. Nach einigen Umdrehungen, deren Anzahl sich nach der Festigkeit des Bodens richtet, zieht ein Arbeiter das hintere Ende des Taues an und hebt dadurch mittels der festen Rolle den Bohrer heraus, während ein anderer Arbeiter den Stiel hält und den Bohrer führt und umstürzt, worauf das Einstellen von Neuem erfolgt.

Durch vielfaches Ablothen mufs man sich stets von der senkrechten Stellung des Brunnens überzeugen, und sobald man bemerkt, dafs diese nicht mehr statt findet, so mufs man den Bohrer auch nicht mehr in die Mitte des Brunnens stellen, sondern näher an diejenige Seite, wo die Senkung am wenigsten erfolgt ist. Um aber dem obern Theile der Mauer die nöthige Festigkeit zu geben, pflegt man Brettstücke herumzustellen, die durch umgeschlungene und geknebelte Taue und noch besser durch umgelegte Ketten und zwischengeschlagene Holzkeile gehalten werden. Man kann Brunnen dieser Art auch in gröfseren Dimensionen, als den beispielsweise

gewählten, ausführen, ohne dafs in dem Verfahren eine wesentliche Aenderung eintritt. Brunnen von 6 Fufs Weite lassen sich noch mit grofser Sicherheit senken, selbst von 12 Fufs Weite hat man sie mit der Wandstärke von einem Steine ausgeführt, doch ist alsdann schon eine grofse Vorsicht nöthig, um den Sand möglichst gleichmäfsig auszuheben. Um die cylindrische Form zu sichern, legt man zuweilen in gewissen Abständen übereinander noch eiserne Ringe, oder hölzerne Kränze, wie den an der Sohle befindlichen, in das Mauerwerk. Trifft es sich aber, dafs der Brunnenkessel bricht und theilweise einstürzt, so mufs der ganze Bau nicht nur aufs Neue angefangen werden, sondern es ist auch alles Material, welches bereits unter das Grundwasser gesunken ist, verloren und es mufs sogar eine andere Baustelle gewählt werden, weil die erste wegen des darin steckenden Mauerwerks und Materials zu sehr verunreinigt ist.

Zu den gröfsten Senkbrunnen, die jemals ausgeführt sind, gehören ohne Zweifel die Schachte, die zu dem Themse-Tunnel in London herabführen. Im Jahre 1825 wurde mit dem Bau des Schachtes auf der Südseite der Anfang gemacht. Derselbe war 42 Fufs 8 Zoll im Lichten weit, in den Wänden 3 Fufs stark, und von der Sohle bis zur Hochwasser-Marke bei Trinity-House 59 Fufs hoch. Dieser Schacht sowie auch der später auf der Nordseite ausgeführte bildet den Zugang für Fufsgänger. Es war ursprünglich Absicht, noch in zwei andern, viel weiteren Schachten flach geneigte Rampen darzustellen, auf welchen die Wagen auf und ab fahren sollten. Diese sind jedoch nicht zur Ausführung gekommen, indem das ganze Unternehmen, wenn es auch in der Hauptsache beendigt wurde, doch keineswegs den Erwartungen entsprach, und als ganz verfehlt angesehn werden mufste.

Was die Construction dieser Schachte betrifft, so wurde für den ersten zunächst aus 48 Segmenten auf einer leichten Rüstung ein gufseiserner Ring zusammengesetzt, indem die einzelnen mit Flanschen versehenen Theile zusammengeschroben wurden. Dieser Ring bildete einen 3 Fufs hohen Cylinder, von 48 Fufs 6 Zoll im Durchmesser. Aus demselben trat auf der innern Seite durch angegossne Eck-Bänder unterstützt und zwar 6 Zoll unter seiner Oberfläche ein 10 Fufs breiter Ring vor. Auf diesem ruhte der 3 Fufs breite und 12 Zoll hohe hölzerne Ring, der die Basis des Mauerwerks bildete. Aus

dem letztern erhoben sich 24 eiserne Bolzen von $1\frac{1}{2}$ Zoll Stärke und 41 Fufs Länge, welche in die Mittellinie der Mauer fielen, und nachdem letztere ausgeführt war, wieder durch einen hölzernen Ring, gleich dem untern, durchgezogen und mittelst Muttern festgeschroben wurden. Das Mauerwerk bestand aus hart gebrannten Steinen, und der Mörtel aus Roman-Cement. Um bei den voraussichtlichen Erschütterungen die Mauern noch mehr zu sichern, waren in geringen Abständen noch hölzerne Ringe von 3 Zoll Breite und Höhe eingemauert.

Eine nähere Beschreibung der Einzelheiten ist in sofern entbehrlich, als dieselben wohl nicht als musterhaft angesehn werden dürfen. Es wäre nur zu erwähnen, dafs auf diesen thurmartigen Bau eine Dampfmaschine gestellt wurde, welche eine Baggermaschine in Bewegung setzte, um aus dem innern Raume die Erde auszuheben. Jene leichte Rüstung, worauf der Fufs ruhte, wurde schon beim Beginne der Maurerarbeit entfernt, indem man nach und nach durch Unterbringen von Keilen und Anstampfen von Erde den ganzen Bau auf den gewachsenen Boden stellte.

Die Versenknng erfolgte keineswegs gleichmäfsig, bald neigte sich der Bau nach einer Seite, und bald stürzte er plötzlich mehrere Zoll tief herab, so dafs man namentlich wegen der darauf stehenden Maschine besorgt war. In dem festen Kleiboden, den man endlich antraf, hörte aber die Bewegung ganz auf, woher der untere Theil des Schachtes durch Unterfahrung aufgemauert werden mufste.

Der Schacht auf dem nördlichen Ufer der Themse, der sogleich in der Höhe von 77 Fufs dargestellt wurde, scheint ohne Unfall versenkt zu sein. *)

Das in neuerer Zeit bei Fundirungen in Strombetten mehrfach angewendete Verfahren, durch Compression der Luft die Sohle trocken zu legen, wurde, soviel bekannt, zum ersten Male beim Abteufen eines Schachtes ohnfern Rochefort versucht. Die reichen Kohlenflötze an der Charente zwischen Rochefort und Ingrande konnten bisher nicht benutzt werden, weil man etwa bis 60 Fufs unter dem

*) Nähere Beschreibungen dieses Baues, der die allgemeinste Aufmerksamkeit erregte, findet man in verschiedenen technischen Zeitschriften, vorzugsweise ist diejenige in *Weale's quarterly papers of Engineering, Part* IV. zu erwähnen.

Wasserspiegel des Flufses eine mit Wasser durchzogene Sandschicht durchfahren mufste. Um dieses möglich zu machen, stellte der Ingenieur Triger einen Apparat dar, mittelst dessen er das Zudringen des Wassers durch einen entsprechenden Gegendruck stark comprimirter Luft verhinderte. Die von Las Casas angestellten Beobachtungen hatten ergeben, dafs man selbst unter einem Drucke von drei Atmosphären über dem der gewöhnlichen Luft, wenn auch unbequem, so doch ohne Nachtheil sich aufhalten, und arbeiten konnte.

Ein aus Eisenblechen zusammengenietheter Cylinder von 64 Fufs Länge, 3½ Fufs Weite und 5¼ Linien Wandstärke bildete den Haupttheil des Apparates. Derselbe wurde zunächt mittelst einer Kunstramme etwa 10 Fufs tief eingetrieben. Um ihn mit stark verdichteter Luft zu füllen, mufste er hermetisch verschlossen werden, doch war es auch nothwendig, die Oeffnungen zum Aus- und Eingehn der Arbeiter und zum Herausschaffen des geförderten Sandes frei zu lassen. Dieses wurde erreicht durch einen eingeschobenen Kasten, dessen Zweck und Wirksamkeit schon seine Benennung, nämlich Luft-Schleuse, bezeichnet. Er bestand wieder in einem eisernen Cylinder von 5½ Fufs Höhe, der sich mit hinreichendem Spielraume in den ersten Cylinder einschieben, und durch eine Stopfbüchse luftdicht daran anschliefsen liefs. Er war sowol oben, als unten mit Oeffnungen versehn, durch welche die Arbeiter hindurchgehn, auch die Eimer gefördert werden konnten. Starke und genau schliefsende Klappen, die sich nach unten öffneten, und jedesmal festgeschroben wurden, sperrten diese Oeffnungen. Der Kasten wurde also abwechselnd mit der äufsern und der innern Luft in Verbindung gesetzt, und bei seinem nur mäfsigen Rauminhalte trat keine wesentliche Verminderung der Luftspannung im Schachte ein, sobald die untere Klappe geöffnet wurde.

Von der Compressions-Pumpe, die durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt wurde, führte eine Röhre bis unter den Boden der Schleuse, und in einer zweiten Röhre stieg das Wasser in Folge des verstärkten Luftdruckes von der Sohle des Schachtes durch die Schleuse bis über den obern Rand des grofsen Cylinders. Diese Wasserröhre wurde zufälliger Weise beschädigt, so dafs durch einige kleine Oeffnungen die verdichtete Luft in das Wasser drang. Letzteres wurde hierdurch specifisch leichter, und man bemerkte, dafs nunmehr der Schacht sich schon bei einem geringeren Drucke ent-

leerte, als nöthig gewesen wäre, wenn die Röhre sich ganz mit Wasser gefüllt hätte. Man vermehrte deshalb die Anzahl der kleinen Luftöffnungen, und so gelang es, mit einem Mehrdrucke von einer Atmosphäre das Wasser aus der Tiefe von 60 Fufs zu heben.

Die Arbeiter empfanden, so oft sie durch die Schleuse gingen, bei der Aenderung des Luftdruckes Ohrenschmerzen, doch vergingen dieselben sehr schnell, wenn durch wiederholtes Schlucken die Luft im Körper mit der äufsern ins Gleichgewicht gesetzt wurde. Das Sprechen bot selbst unter dem Drucke von drei Atmosphären keine Schwierigkeit, die Kerzen und Lampen leuchteten, wie gewöhnlich, doch rauchten sie stärker, und verbrannten schneller, als in freier Luft.

Als man auf festes Gestein gekommen war, drang die comprimirte Luft, wahrscheinlich durch aufwärts gerichtete Spalten, bis in die Charente, in der man eine Menge Blasen aufsteigen sah. Man teufte alsdann den Schacht noch etwa 20 Fufs tiefer ab, mauerte den untern Theil aus, und verband denselben mit dem eisernen Cylinder, wodurch der Zudrang des Wassers ganz unterbrochen und die fernere Benutzung der Luftschleuse entbehrlich wurde.

Ein weiter Brunnenkessel hat vor einem engen Bohrloche den wichtigen Vorzug, dafs eine grofse Wassermasse, die vielleicht nur langsam aus den Erdschichten hineinfliefst, sich darin ansammelt, und sonach bei zufällig eintretendem starken Bedarfe das erforderliche Quantum sicherer entnommen werden kann. In dieser Beziehung ist es aber nicht nothwendig, die grofsen Dimensionen bis zu der Eröffnung der wasserführenden Schicht beizubehalten, vielmehr kann man ohne Nachtheil letztere durch eine enge Röhre mit dem Kessel in Verbindung setzen. Ein solches Verfahren ist besonders in sofern sehr empfehlenswerth, als die Darstellung des Brunnenkessels um Vieles leichter wird, wenn man ihn in festem Thonboden ohne Zutritt von Quellen ausführen, also die Ummaurung im Trocknen vornehmen kann. Man mufs alsdann aber davon überzeugt sein, dafs die wasserführende Schicht ziemlich nahe unter der Sohle liegt, also jenes Verbindungsrohr leicht hindurchgetrieben werden kann. Doch auch in diesem Falle können die einbrechenden Quellen, wenn sie aus einer Schicht feinen Sandes mit grofser Gewalt und starkem Drucke vortreten, soviel Sand mit sich führen, dafs sie nicht nur den Kessel theilweise anfüllen, sondern auch die Röhre vollständig

verstopfen, so dafs die fernere Speisung des Brunnens ganz aufhört. Diese Gefahr tritt nur bei der ersten Anfüllung ein, denn späterhin bildet das darin befindliche Wasser einen so starken Gegendruck, dafs der Zuflufs nur langsam erfolgt und der Sand nicht mehr in Bewegung gesetzt wird.

Um bei der Durchbohrung der letzten Schicht das Eintreiben des Sandes zu verhindern, wandte Hallette bei Ausführung eines Brunnens zu Roubaix im Departement du Nord mit günstigem Erfolge das sogenannte Klärungsrohr an. Er füllte nämlich die eiserne Röhre mit kleinen Steinen, und indem das Wasser zwischen diesen hindurchdrang, mäfsigte sich seine Geschwindigkeit so sehr, dafs es keinen Sand mit sich rifs, wie dieses bei dem früheren Versuche mit der offenen Röhre geschehn war. Dieses Klärungsrohr wurde auf einen gufseisernen Kegel aufgestellt, indem dessen aufwärts gekehrte Basis mit einem dünnen Rande umgeben war, die das Rohr umfafste. Dieser Kegel diente als Pfahlschuh, und nachdem er die lockere Sandschicht erreicht hatte, so sank er von selbst so tief herab, dafs über ihm das Wasser eintreten konnte.

Ist die wasserführende Schicht fest abgelagert und keinem starken Drucke ausgesetzt, so kann es leicht geschehn, dafs selbst ein weiter Brunnenkessel bei fortgesetzter Entnahme von Wasser sich bald entleert. Der Zuflufs läfst sich indessen verstärken, wenn man die Differenz zwischen dem äufsern und innern Drucke vergröfsert. Eine Vermehrung des äufsern Druckes ist zwar nicht möglich, wohl aber eine Verminderung des innern, indem man den atmosphärischen Druck im Brunnenkessel theilweise aufhebt, oder hier eine Luftverdünnung bewirkt. Hierauf beruht der in der letzten Pariser Ausstellung bekannt gewordene Brunnen von Donnet. Derselbe ist oben luftdicht abgeschlossen, und über dem Wasser, welches sich in ihm sammelt, wird die Luft durch einen Exhaustor ausgesogen.

§. 9.

Artesische Brunnen im Allgemeinen.

Die Artesischen Brunnen haben ihren Namen von der Französischen Provinz Artois, woselbst sie seit geraumer Zeit üblich

sind, und wo sie besonders diejenigen auffallenden Erscheinungen zeigen, die allgemeines Interesse erregt haben. Der klüftige Kreideboden, der sich von der Mündung der Seine bis zu dem Cap Blanc-Nez ohnfern Calais hinzieht, erstreckt sich in bedeutender Höhe, mehr oder weniger mit aufgeschwemmtem Boden überdeckt, weit landeinwärts und bildet die Wasserscheide zwischen der Somme und der Schelde. Er fällt nordwärts ab und in der Linie, welche die Städte Béthune, Lillers, Aire, St. Omer und Calais verbindet, ist er nahe 100 Fuſs hoch mit Sand und Lehm überdeckt. Hier findet auch eine merkliche Abdachung des Bodens statt, welche zwar die Richtung der kleinen Flüsse Yser und Lys und selbst der Schelde bedingt, aber noch nicht ein natürliches Hervortreten derjenigen Wassermassen gestattet, die in den Klüften der Kreide enthalten sind, und in diesen dem Meere zuflieſsen. Gewöhnliche Brunnen geben hier in geringer Tiefe, sobald man wasserführende Schichten antrifft, ziemlich befriedigende Resultate, wenn man aber in groſser Tiefe die Kreide erbohrt, so ist der Erfolg viel auffallender, da alsdann das Wasser unter dem Drucke hervorbricht, welcher der Höhe des Niveaus in weiter Entfernung entspricht. In solchen Bruunen sammelt das Wasser sich nicht nur an, sondern es strömt aus denselben frei auf die Erdoberfläche. Bei Gonnehem, ohnfern Béthune, sind vier Brunnen auf einer Wiese angelegt, in denen man die Röhren 11½ Fuſs über den Boden heraufgeführt hat, und welche das Wasser in solcher Höhe ausgieſsen, daſs sich ein hinreichendes Gefälle darstellt, um eine Mühle zu treiben, die in 24 Stunden 4 Centner Mehl bereitet.

Bei der groſsen Tiefe dieser Brunnen ist die vorher beschriebene Art der Ausführung nicht mehr anwendbar. Dieselben werden nicht gegraben, sondern gebohrt, und ihre Weite beschränkt sich meist auf 6 bis 12 Zoll, während eiserne Röhren ihre Umschlieſsungen bilden.

Wenn sich hieraus schon ergiebt, was man im Allgemeinen unter der Benennung Artesischer Brunnen versteht, so bleibt es dennoch zweifelhaft, ob das unterscheidende Kennzeichen derselben das freie Ausströmen des Wassers ist, oder ob jeder gebohrte Brunnen ein Artesischer heiſst. Es scheint, daſs der Sprachgebrauch hierüber bis jetzt noch nicht bestimmt entschieden hat, und sonach läſst sich die oft angeregte Frage, ob man überall

Artesische Brunnen anlegen könne, nicht beantworten. Es ist gewiſs, daſs man an jeder Stelle ein Bohrloch ausführen, und wenn Mühe und Kosten nicht gescheut werden, man dieses auch auf groſse Tiefe herabtreiben kann, daſs man aber jedesmal Quellen findet, die bis über die Oberfläche steigen, ist nach der gegebenen Erklärung der Quellen nicht anzunehmen.

In Frankreich wird in neuerer Zeit jeder tiefe, gebohrte Brunnen ein Artesischer genannt, woher man dort auch von Artesischen Brunnen spricht, die nicht Wasser geben, sondern solches verschlucken. In dieser Bedeutung soll der Ausdruck auch hier gebraucht werden, da es nur auf die Mittheilung des Verfahrens der Ausführung ankommt.

Die Brunnen dieser Art sind in manchen Theilen von Deutschland, Frankreich und Italien schon seit Jahrhunderten bekannt, ihre erste Anwendung fällt aber in eine viel frühere Zeit, da die alten Egyptier sich ihrer schon zum Bewässern der Oasen bedienten, und ähnliche Brunnen, deren Zweck jedoch ein anderer ist, kommen auch in China häufig vor. Von den gebohrten Brunnen in Egypten spricht bereits Olympiodor und sagt, daſs sie eine Tiefe von 200 bis 300 und sogar bis 500 Ellen haben und daſs sie das Wasser über die Erdoberfläche ausgieſsen, welches zur Bewässerung der Aecker benutzt wird. Durch neuere Untersuchungen hat sich die Richtigkeit dieser Angabe bestätigt. Die Pariser Academie der Wissenschaften erhielt hierüber folgende wichtige Mittheilung, und zwar nach den Angaben des Militair- und Civil-Gouverneurs Ayme, der in den Oasen von Theben und Garbe chemische Fabriken eingerichtet hatte.

Die groſse Oase von Theben und die von Garbe umfaſst beinahe $2\frac{1}{4}$ Quadratmeilen eines Bodens, der sich nach den Versuchen von Ayme zur Cultur von Zuckerrohr, Indigo, Krapp und Baumwolle eignet. Diese beiden Oasen sind wie ein Sieb mit Artesischen Brunnen durchlöchert, die aber groſsentheils durch den Einsturz der Einfassungen und durch das Abbröckeln der Seitenwände verschüttet sind. Nachdem im Jahre 1836 ein Bohrgestänge von 500 Fuſs Länge zugerichtet war, gelang es, mehrere dieser Brunnen aufzuräumen, in welchen das Wasser bis zur Höhe des Erdbodens aufstieg.

Das Verfahren der alten Einwohner dieser Gegenden beim Brunnenbohren war Folgendes. Es wurden vierseitige Löcher aus-

gehoben, die bei einer Weite von 6 bis 11 Fuſs sich bis zum Kalk erstreckten, der in der Tiefe von 60 bis 75 Fuſs vorkommt. Die Erdschichten, welche man dabei zu durchgraben hatte, bestanden der Reihe nach aus vegetabilischer Erde, Thon, Mergel und thonigem Mergel. Letzterer liegt auf dem Kalke, unter dem das Wasserbassin sich befindet, daſs alle Brunnen der Oase speist. Sobald diese weiten Brunnenkessel den Kalk erreicht hatten, wurden sie mit einer dreifachen Schalung von Palmenholz eingefaſst, um das Einstürzen der Erde zu verhüten. Bis soweit geschah die Arbeit im Trocknen, und nun muſste die 300 bis 400 Fuſs mächtige Kalkschicht durchbohrt werden, ehe man das unterirdische Wasser erreichte. Welche Methode des Bohrens angewendet wurde, ist nicht bekannt, beim Aufräumen der alten Bohrlöcher zeigte es sich aber, daſs die Quellen unter dem Kalke sich in oder auf einer Sandschicht bewegen, die nach den Proben zu urtheilen, welche der Bohrer davon heraufbrachte, mit dem Sande des Nils übereinstimmt. Einer dieser Brunnen zeigte nach der Aufräumung und Reinigung eine Erscheinung, die auch bei Elbeuf ohnfern Rouen sich wiederholt hat. Aus der Tiefe von 345 Fuſs kamen nämlich mit dem Wasser auch Fische herauf.

Man bemerkt, daſs die Alten vorsichtig zu Werke gingen. Um nämlich ein zu starkes Ausströmen des Wassers zu verhindern, machten sie aus sehr hartem Sandsteine Pfropfen, die mit einer Fassung umgeben, ganz oder theilweise geöffnet werden konnten. Bei andern Brunnen sind statt dieser Pfropfen hölzerne Röhren in die Bohrlöcher getrieben. Die Weite der Bohrlöcher beträgt 8 Zoll.

Aus der groſsen Anzahl dieser Brunnen und ihrem unregelmäſsigen Vorkommen ergiebt sich, daſs man in diesen beiden Oasen überall Wasser findet, und es scheint, daſs die Wassermenge allein durch die Weite der Bohrlöcher bedingt ist. Der Versuch, die letzteren wieder aufzuräumen, war sehr kostbar, weil bei dem starken Wasserzudrange und bei dem Mangel an andern Hülfsmitteln Taucher angewendet werden muſsten, die mit den Händen die Aufräumung vornahmen. Dazu kommt noch der hohe Preis des Holzes in diesen Gegenden. Ayme beabsichtigte, ganz neue Brunnen zu bohren, wobei sich hoffentlich wichtige Aufschlüsse über die Natur des Bo-

dens und den mächtigen unterirdischen Strom ergeben werden, der, wie es scheint, von Darfour herkommt.*)

Die gebohrten Brunnen in China sollen 2000 bis 3000 Fufs tief und 5 bis 6 Zoll weit sein. Sie kommen in so grofser Anzahl vor, dafs zum Beispiel ohnfern des Fleckens U-Thung-Khiao auf einem Raume von 6 Meilen Länge und 3 Meilen Breite mehrere Zehntausende derselben existiren**). Sie sind in Felsen gebohrt, und das dabei angewendete Verfahren wird als so zeitraubend bezeichnet, dafs mehrere Generationen an einem und demselben Brunnen arbeiten müssen, bevor der gesuchte Quell erreicht wird. Diese Brunnen enthalten Quellen von 20 bis 25 Prozent Salzgehalt, und fliefsen nicht über, sondern die Sohle mufs noch aus einer bedeutenden Tiefe mittels einer 24 Fufs langen Bambusröhre, die unten mit einem Ventile versehn ist, geschöpft werden, wozu ein Göpel dient, vor welchen Ochsen gespannt sind. Die Art, wie die Brunnen hier gebohrt werden, gehört zur Methode des Seilbohrens, weshalb man diese auch die Chinesische zu nennen pflegt.

In Europa waren gebohrte Brunnen bei Modena und Bologna, sowie auch in Nieder-Oestreich, schon lange bekannt. Vor 200 Jahren führte Dominicus Cassini im Fort Urbain einen solchen Brunnen aus, in welchem das Wasser bis zu den obersten Geschossen der Häuser anstieg. Im alten Karthäuserkloster zu Lillers soll schon im Jahre 1126 ein Brunnen dieser Art errichtet sein, und Bélidor***) giebt eine vollständige Beschreibung der gebohrten und überfliefsenden Brunnen und fügt derselben eine Erklärung und manche Bemerkungen hinzu, welche mit den neuesten Erfahrungen übereinstimmen. Die allgemeine Aufmerksamkeit auf Anlagen dieser Art wurde jedoch erst angeregt, als die Gesellschaft für Beförderung der National-Industrie zu Paris im Jahre 1816 einen Preis von 3000 Franks auf die beste Anweisung zur Aufbohrung fliefsender Quellen aussetzte, wie solche in der frühern Provinz Artois üblich sind. Diesen Preis gewann der beim Bergbau in Arras angestellte Inge-

---

*) *Compte rendu des séances de l'Académie des sciences: Séance du Lundi.* 10. *September* 1838.

**) Poggendorff's Annalen. Bd. XVIII. S. 604.

***) *Science des Ingénieurs.* 1729. *Cap. IV. Liv. XII.*

nieur Garnier, dessen Abhandlung*) eine ausführliche Beschreibung der anzuwendenden Geräthe sowie des ganzen Verfahrens enthält. Sie giebt zugleich eine Uebersicht der Boden-Verhältnisse, welche die Quellenbildung begünstigen, doch ist dabei vorzugsweise und beinahe ausschliefslich die Localität der Provinz Artois im Auge behalten. Von gleicher Wichtigkeit war eine Schrift von Héricart de Thury**), worin besonders die geognostischen Verhältnisse auseinandergesetzt sind, welche bei Bohrbrunnen einen günstigen Erfolg herbeigeführt haben oder erwarten lassen. Aufserdem wird in diesem Werke die Ergiebigkeit und der Nutzen dieser Anlagen an vielen Beispielen nachgewiesen, und zugleich sind die eigenthümlichen Erscheinungen beschrieben, die hin und wieder sich dabei gezeigt haben. Seit dieser Zeit sind Artesische Brunnen in Frankreich, Deutschland, England, Nord-Amerika vielfach ausgeführt. Von grofser Bedeutung für die Landeskultur sind sie auch in Algerien gewesen. Nach dem Berichte des General Desvaux wurden bis zum Jahre 1857 in der Provinz Constantine sechs Brunnen ausgeführt. Der erste derselben, in Tamerna, einer Oase des Qued-Rir, gab bei der Tiefe von nahe 200 Fufs in der Secunde über 2 Cubikfufs Wasser. Auch die andern Anlagen hatten ähnliche, zum Theil noch gröfsere Erfolge.

Die in neuerer Zeit angewendeten Methoden weichen nach den inzwischen gesammelten Erfahrungen wesentlich von denjenigen ab, die Garnier empfohlen hatte. Besonders bei grofsen Tiefen mufsten zur Sicherung der Arbeit eigenthümliche Apparate und Verfahrungs-Arten benutzt werden. Eine nähere Bezeichnung derselben würde zu weit führen, sie ist aber an dieser Stelle auch entbehrlich, da vorkommenden Falls die Ausführung nicht dem Baumeister, sondern dem Bergmanne oder einem darin besonders erfahrenen Techniker übertragen wird. Es soll daher im Folgenden nur von dem Durchbohren der Diluvial- und Tertiär-Schichten und zwar bei der mäfsigen Tiefe von einigen hundert Fufs die Rede sein, doch müssen zuvor noch manche Eigenthümlichkeiten der Artesischen Brunnen erwähnt werden. Diejenigen Leser, die sich mit dem Gegenstande

---

*) *de l'art du fontenier sondeur et des puits Artésiens.* Paris 1822.

**) *Considérations géologiques et physiques sur le gisement des eaux souterrains, relativement au jaillissement des fontaines artésiennes.* Paris 1828.

näher bekannt machen wollen, werden auf die ausführlichen Mittheilungen von Bruckmann, Degoussée, Kind, Beer und Anderer aufmerksam gemacht *).

Was früher über den Ursprung der Quellen gesagt ist, findet auch auf die Artesischen Brunnen Anwendung. In den meisten Fällen kann man mit Sicherheit angeben, woher diese Brunnen ihr Wasser beziehn, und nur selten bleibt bei näherer Untersuchung des Terrains hierüber ein Zweifel übrig. Zuweilen trifft es sich auch, dafs man eine eigenthümliche und an sich wenig wahrscheinliche Gestaltung der wasserhaltenden und undurchdringlichen Erdschichten annehmen mufs, um übereinstimmend mit der oben entwickelten Quellentheorie die Erscheinung zu erklären. Indem diese Fälle aber sehr selten sind, so darf auch ihr Vorkommen nicht befremden, und es würde sogar auffallen, wenn unter den so verschiedenen Abwechselungen die Erdschichten immer nur in der einfachsten Art sich abgelagert hätten.

Ueber die Richtung, in welcher sich das Wasser in diesen unterirdischen Strömen bewegt, hat man in einzelnen Fällen entscheidende Versuche angestellt. So erzählt Garnier, dafs von zwei Brunnen in Béthune der eine sogleich trübes Wasser ausgofs, sobald in den andern, der südwestlich vom ersten liegt, ein Kolben eingebracht und schnell auf und ab bewegt wurde. Im umgekehrten Falle zeigte sich in dem zweiten keine Trübung. Es ergab sich hieraus, dafs der unterirdische Strom dieselbe Richtung hatte, in welcher das Gebirge sich senkt.

Der Zusammenhang, in welchem manche Brunnen unter sich stehn, ist zuweilen sehr auffallend. So hat man nicht selten bemerkt, dafs durch Aufbohren eines zweiten Brunnens in der Nähe eines schon bestehenden die Ergiebigkeit dieses merklich geringer wurde, und indem man einen von beiden wieder schlofs, strömte der andere sogleich um so kräftiger. In andern Fällen zeigt sich diese Erscheinung nicht, und es ist klar, dafs sie nur eintreten kann, wenn dieselbe Wasserader beide Brunnen versorgt, sie kann

*) Besonders dürfte das Werk von A. H. Beer, das unter dem Titel Erdbohrkunde 1858 in Prag erschienen ist, zu empfehlen sein. Auch die ausführliche Beschreibung der in Frankreich üblichen Methoden in Förster's allgemeiner Bauzeitung, XIV. Jahrgang Seite 217 bis 275 enthält viele wichtige Mittheilungen.

sich außerdem auch nur zu erkennen geben, wenn der zweite Brunnen einen namhaften Theil der Wassermasse dieser Ader abzieht und sie merklich schwächt. Artesische Brunnen, die in der Nähe des Meeres angelegt sind, zeigen gewöhnlich einen auffallenden Zusammenhang mit der Fluth und Ebbe. An das Eintreten der Fluth in den unterirdischen Quell darf man dabei nicht denken, aber dieser hat zwei Ausmündungen, die eine ins Meer und die andere durch das Bohrloch. Je kräftiger jene wirkt, um so weniger Wasser wird diese bei gleichem Zuflusse abführen. Bei größerer Entfernung des Brunnens von der Meeresküste muß dieser Einfluß sich aber später einstellen, und es erklärt sich, daß bei dem verminderten Abflusse während der Fluth die einzelnen Bassins oder die Zwischenräume zwischen den Kiesmassen sich zuerst anfüllen müssen, bevor der verstärkte Druck weiter aufwärts eintritt, und daß die Zwischenzeit leicht mehrere Stunden betragen kann. Dieses ist der Grund, weshalb manche Artesische Brunnen gerade während der Ebbe viel und während der Fluth wenig Wasser geben.

Die Ergiebigkeit eines Bohr-Brunnens und zum Theil sogar sein Gelingen hängt nicht nur von der relativen Höhe der Stelle ab, wo er angelegt wird, sondern eben so sehr auch von der Formation des Bodens. Die Wasserader, die einen reichen Zufluß gewährt, kann nur in einem klüftigen Gesteine oder in ausgedehnten Spalten gesucht werden. Aus diesem Grunde geben dichte und mit keinen oder nur mit engen Spalten durchzogene Gebirgsarten, wie die Urgebirge, auch keine überfließende Brunnen, wie auch die natürlichen Quellen hier schon ziemlich arm zu sein pflegen. Im Granit hat man in England einige Artesische Brunnen ausgeführt, die wenigstens zum Theil ihren Zweck erfüllt haben*), von dem Brunnen in Aberdeen in Schottland, der eine ansehnliche Wassermenge frei ausgießt, hat jedoch Robinson später gezeigt**), daß er nicht im Granit, sondern in einer tiefen mit Sand gefüllten Spalte das Wasser aufnimmt. Die Uebergangsgebirge, wenigstens die Grauwacke und der Thonschiefer, sind ungefähr von derselben Beschaffenheit, und einzelne Brunnen im Thonschiefer sind wegen des schlechten

---

*) *Civil Engineer and Architect's Journal.* 1839. *p.* 146.

**) Poggendorff's Annalen. Band 38. S. 588.

Wassers, das vom Schwefelkiese stark verunreinigt war, auch als mifsglückt zu betrachten.

Das eigentliche Gebiet der Artesischen Brunnen sind die Flötzgebirge. Der Sandstein ist jedoch wasserarm, und wenn man darin auch Quellen findet, so fliefsen sie nicht über, beim Keuper haben die bisherigen Versuche dasselbe ergeben, der Muschelkalk und Jurakalk stellen sich günstiger dar, aber vorzugsweise finden sich in der Kreide reichhaltige Wasseradern, wenn nach den sonstigen Verhältnissen deren Speisung möglich ist. Die Kalkerde wird nur in geringer Menge vom Wasser aufgelöst, daher sind die Quellen, die aus ihr treten, von reinem Geschmack und zu den meisten Zwecken brauchbar. Durch das ununterbrochene Durchströmen von immer neuen Wassertheilchen geht aber die Auflösung der Kreide zwar langsam, doch dauernd fort, und so erweitern sich die Wasserläufe und es bilden sich Höhlungen. Diese sind es, die beim Bohren der Artesischen Brunnen ein plötzliches Herabsinken des Gestänges verursachen, und sie scheinen zum Theil auch von Fischen bewohnt zu sein, wenigstens wäre sonst das Erscheinen derselben im Zirknitzer See und in den Bohrlöchern der Egyptischen Oasen nicht zu erklären. Der Brunnen zu Elbeuf, der 480 Fufs tief ist, warf eine Menge kleiner lebendiger Aale aus, deren Uebereinstimmung mit den gewöhnlichen Aalen constatirt wurde. Im Artesischen Brunnen im Zuchthause zu Beaulieu bei Caen fand man sogar einen lebendigen ausgewachsenen Aal, der sich durch sehr grofse Augen auszeichnete, was auf einen dauernden Aufenthalt in dunkeln Räumen schliefsen liefs.

Die Sandmassen, die einige Bohrlöcher bei ihrer ersten Eröffnung auswarfen, und manche Wahrnehmungen beim Bohren selbst, zeigen, dafs die unterirdischen Ströme nicht immer im Kalke sich befinden, sondern dafs sie zuweilen auch zwischen diesem und einer darunterliegenden Sandschicht (grofsentheils Grünsand) vorkommen. In diesem Falle bildet also der Kalk die feste Decke, welche das Verschütten des Stromschlauches verhindert.

Die Artesischen Brunnen, welche den Felsboden gar nicht erreichen und nur zu den Sand- und Kiesschichten im aufgeschwemmten Boden herabgeführt sind, pflegen im Allgemeinen weniger ergiebig zu sein, indem sich hier keine weiten Oeffnungen bilden können.

Die Höhe, zu welcher das Wasser der Artesischen Brunnen steigt, ist sehr verschieden, und hängt theils von dem Niveau des Speisewassers und theils von der Beschaffenheit der sonstigen Ausflüsse ab. Dafs die Quellen zuweilen 20 bis 30 Fufs über den Boden gehoben werden, ist bereits bemerkt worden, doch giebt es Beispiele, wo sie noch viel höher steigen. In einem Brunnen zu Bruck bei Erlangen soll das Wasser bis 70 Fufs ausgespritzt sein, woher die Steighöhe in einer Röhrenleitung wahrscheinlich noch bedeutend gröfser gewesen wäre. In vielen Fällen dagegen erreicht das Wasser nicht die Oberfläche der Erde, so dafs auch kein freier Ausflufs stattfindet und die Anwendung von Pumpen nöthig wird, wie dieses namentlich in London zu geschehn pflegt.

Eben so verschieden ist die Reichhaltigkeit der Artesischen Brunnen und diese wird wieder durch die Höhe bedingt, zu der man das Wasser ansteigen läfst. Je gröfser die letztere ist, um so mehr nimmt der Druck zu und um so stärker ergiefst sich das Wasser in die andern natürlichen Abzugs-Canäle. Man hat diese Abhängigkeit überall bemerkt, und wo die Steighöhe nicht bedeutend ist, macht eine Differenz von einem Fufs schon einen merklichen Unterschied in der Wassermenge. In jedem Brunnen giebt es eine gewisse Höhe, zu der das Wasser nur eben noch ansteigt, ohne sich darüber zu erheben. Der Abflufs hört also ganz auf, wenn die Oeffnung oberhalb dieser Grenze liegt. Im Allgemeinen sind Brunnen, die in der Secunde 5 Quart, oder gegen $\frac{1}{4}$ Cubikfufs Wasser geben, schon ziemlich selten, doch kommen auch Beispiele vor, dafs sie bis 2 Cubikfufs in der Secunde liefern, wie z. B. der bereits erwähnte Brunnen in Algerien, auch der Brunnen in der Gemeine Bages, 2 Lieues südwestlich von Perpignan, giebt nach Arago's Mittheilung in der Minute 2000 Liter oder in der Secunde über 1 Cubikfufs.

Sehr wichtig ist die Frage, welche Beziehung zwischen der Reichhaltigkeit eines Brunnens und der Höhe seiner Ausflufs-Mündung besteht, oder in welchem Maafse die Wassermenge sich vermindert, wenn man die Steighöhe vergröfsert. Darcy theilte hierüber eine Reihe von Beobachtungen mit, die an dem Brunnen von Grenelle in Paris angestellt wurden *).

*) *Les fontaines publiques de la ville de Dijon, par Henry Darcy.* Paris 1856. *pag.* 160.

Dieses Bohrloch ist durch verschiedene in einander geschobene Röhren eingefaſst, welche die nachstehenden lichten Weiten und Längen (in Rheinländischem Fuſsmaaſse) haben:

der unterste Theil ist 411,5 Fuſs lang und 0,54 Fuſs weit,
der nächste - - 229,6 - - - 0,45 - -
der folgende - - 625,2 - - - 0,57 - -
der darauf folgende - 446,0 - - - 0,76 - -

In der Höhe von 1712,3 Fuſs über dem untern Ende der Röhre, befindet sich die Sohle des auf dem Terrain ausgeführten Beckens, und von diesem Niveau ab sind die Höhen der verschiedenen Steigeröhren gemessen, die bei den Versuchen verlängert und verkürzt wurden. Die lichte Weite der letzten Röhren betrug 0,69 Fuſs.

In der nachstehenden Tabelle sind diese Höhen h, sowie auch die dabei gewonnenen Wassermengen m in Rheinländischem Fuſsmaaſse angegeben. Die dritte Spalte überschrieben $h+l$ bezeichnet die ganze Steig-Höhe. Die Bedeutung der beiden letzten Spalten wird später erklärt werden.

h	m	$h+l$	H	$H+l$
105,5	0,402	1817,8	4,12	1821,9
90,8	0,434	1803,1	4,76	1807,9
79,8	0,461	1792,1	5,34	1797,4
58,6	0,493	1770,9	6,03	1776,9
49,9	0,514	1762,2	6,51	1768,7
46,2	0,530	1758,5	6,91	1765,4
38,6	0,550	1750,9	7,41	1758,3
19,4	0,589	1731,7	8,42	1740,1
9,7	0,604	1722,0	8,80	1730,8
0,0	0,647	1712,3	10,04	1722,3

Es ergiebt sich hieraus, daſs bei gröſserer Höhe der Ausfluſs-Mündung die Wassermenge m sich wesentlich vermindert. Die Geschwindigkeit in der Röhre, deren Querschnitt durchschnittlich etwa ein Viertel Quadratfuſs miſst, beträgt bei den verschiedenen Steigehöhen 1,5 bis $2\frac{1}{2}$ Fuſs, woher zur Darstellung derselben nur sehr mäſsige Druckhöhen erforderlich sind. Letztere lassen sich nach

den bekannten Gesetzen über die Bewegung des Wassers in cylindrischen Röhren leicht berechnen, um diese aber bequem anwenden zu können, mufs man den Einflufs der verschiedenen lichten Durchmesser, die zwischen 0,54 und 0,76 Fufs liegen, beseitigen und den constanten Durchmesser einer solchen Röhre suchen, die bei gleicher Länge, der Bewegung des Wassers denselben Widerstand entgegensetzt.

Die Längen der einzelnen Röhrentheile bezeichne man mit $l_, l_{,,}$ . . . ., die Weiten oder Durchmesser derselben mit $d_, d_{,,}$ . . . ., die Geschwindigkeiten darin mit $v_, v_{,,}$ . . . . Die hindurchfliefsende Wassermenge m ist in allen Theilen dieselbe, man kann also jedes v durch das entsprechende d ausdrücken. Gesucht wird die Geschwindigkeit v und der Durchmesser d derjenigen gleichförmigen Röhre, die bei der Länge

$$l = l_, + l_{,,} + \ldots$$

dieselbe Wassermenge, wie die ungleichförmige Brunnenröhre abführt, oder die der Bewegung dieselben Widerstände entgegensetzt.

Der Widerstand in jedem Röhrentheile ist nach den gewöhnlichen Annahmen gleich

$$n \,.\, l \,.\, d \,.\, v^2$$

wo n einen constanten Factor bedeutet. Man hat also

$$l \,.\, d \,.\, v^2 = l_, d_, v_,^2 + l_{,,} d_{,,} v_{,,}^2 + \ldots$$

$$\text{und da } v = \frac{4m}{\pi d^2}$$

so verwandelt sich dieser Ausdruck beim Fortfallen des gemeinschaftlichen Factors

$$\frac{16\, m^2}{\pi^2}$$

$$\text{in } \frac{l}{d^3} = \frac{l_,}{d_,^3} + \frac{l_{,,}}{d_{,,}^3} + \ldots .$$

l ist aber bekannt, und sonach kann man aus den gegebenen Längen und Weiten der Röhrentheile die gesuchte entsprechende Weite der gleichförmigen Röhre finden.

Setzt man zur Abkürzung der Rechnung die Länge der obersten Röhre, die bei den verschiedenen Versuchen sich verändert, gleich der Hälfte des gröfsten h oder $= 52{,}75$ so ergiebt sich beim Einführen der mitgetheilten Zahlenwerthe der gesuchte Durchmesser

$$d = 0{,}564$$

Es mufs aber bemerkt werden, dafs bei Annahme eines andern Werthes für das letzte l das gesuchte d nur wenig sich ändert.

Nunmehr kann man leicht die Druckhöhen H über der Ausflufs-Oeffnung der Röhre berechnen, welche bei der jedesmaligen Länge der Röhre die beobachteten Wassermengen liefern. Man darf dabei die von Eytelwein gegebene Formel zum Grunde legen, da es auf grofse Genauigkeit der Rechnung nicht ankommt.

$$m = 5{,}04 \,.\, d^2 \sqrt{\frac{50 \,.\, H \,.\, d}{l + 50 \,.\, d}}$$

also

$$H = \frac{(l + 50 \,.\, d)\, m^2}{1270 \,.\, d^5}$$

und führt man für d den gefundenen Werth ein, so erhält man

$$H = \frac{(l + 28{,}2)\, m^2}{72{,}54}$$

Hiernach sind die in der vierten Spalte der vorstehenden Tabelle angegebenen Werthe von H berechnet. Addirt man zu denselben die jedesmalige Länge l, so findet man die ganze Druckhöhe, die bei jeder Beobachtung das Steigen des Wassers veranlafste. Die letzte Spalte bezeichnet diese.

Man bemerkt, wie der Druck in der wasserführenden Erdschicht sich sehr bedeutend, aber ziemlich regelmäfsig mit der Zunahme der aufsteigenden Wassermenge vermindert. Die Erscheinung ist daher ganz analog der Abnahme der Dampfspannung, wenn der Kessel undicht wird und ein Theil des Dampfes durch die geöffneten Fugen entweicht. Trägt man die Wassermengen m und die Druckhöhen $H + l$ nach diesen Beobachtungen als Abscissen und Ordinaten auf, so bemerkt man, dafs die Endpunkte der letzteren nahe in eine gerade Linie fallen, die keine Krümmung nach einer oder der andern Seite entschieden erkennen läfst. Verlängert man diese Linie in ihrer wahrscheinlichsten Richtung, so ergiebt sich für $m = o$ der Werth von $H + l$ ungefähr 2000 Fufs, und hieraus dürfte man schliefsen, dafs in der Höhe von 290 Fufs über der Sohle des erwähnten Beckens der Abflufs ganz aufhört, oder eine solche Höhe der Wassersäule, dem Drucke in der wasserführenden Erdschicht entspricht, bevor dieselbe angebohrt war. Diese Folgerung ist indessen sehr zweifelhaft, da nicht zu verkennen, dafs die sämmtlichen Beobachtungen von dem Punkte, wo die volle Druckhöhe erreicht wird,

noch weit entfernt sind, also die Verlängerung der Linie bis zu demselben sehr gewagt ist.

Hierbei muſs noch erwähnt werden, daſs in neuerer Zeit der französische Ingenieur Michal diese Verhältnisse in ganz andrer Art erklärt hat. *) Derselbe geht von der Voraussetzung aus, die Wassermasse, welche sich in der Erde bewegt, sei so groſs, daſs der Abfluſs durch das Bohrloch den Druck nicht vermindert, und die scheinbare Abnahme des Druckes nur von den Oscillationen und dem Gegendrucke der auf der Röhre ruhenden kegelförmigen Wassermasse herrührt, welche bei gröſserer Ergiebigkeit der Bewegung um so mehr entgegentritt. Die darüber ausgeführte Untersuchung ergiebt freilich eine gewisse Uebereinstimmung in den an den Brunnen von Grenelle und bei Passy angestellten Beobachtungen, doch kann diese auch zufällig sein und die ganze Auffassung der Erscheinung wie auch die theoretische Begründung derselben ist nicht überzeugend.

Es ist begreiflich, daſs reiche Quellen, wenn sie unerwartet angebohrt werden, groſse Verlegenheit veranlassen können. Hiervon giebt es mehrfache Beispiele. Héricart de Thury erzählt, daſs bei einem Bohrversuche in England das Wasser plötzlich so heftig hervordrang, daſs es nicht nur einen Garten überschwemmte, sondern auch die Keller in der Nähe anfüllte. Die Röhre lieſs sich aber nicht absperren, indem der Pfropfen immer mit groſser Heftigkeit herausgeworfen wurde, bevor man ihn fest eintreiben konnte. Es glückte jedoch, schwache Ringe oder dünne Röhrenstücke einzuschlagen, und dadurch nach und nach die Mündung zu verengen, bis sie zuletzt ganz geschlossen wurde. In Tooting dagegen, wo das plötzlich ausbrechende Wasser die benachbarten Grundstücke inundirte, gelang es zwar, einen starken Pfropfen in die Röhre einzutreiben und dadurch den eigentlichen Artesischen Brunnen zu sperren, aber hierauf drang das Wasser ringsumher aus dem Boden hervor und drohte alle umstehenden Gebäude zu zerstören. Man muſste sich beeilen, die Oeffnung wieder frei zu machen und durch Rinnen und Gräben für den Abfluſs des Wassers zu sorgen. Ein ähnlicher Fall ereignete sich auch ohnfern der Eisenbahn-Station Güldenboden in der Nähe von Elbing.

Indem man bei Ausführung der Artesischen Brunnen gemeinhin

---

*) *Annales des Ponts et Chaussées* 1866. *I. sémestre pag.* 211.

die Lagerungs-Verhältnisse der Bodenschichten nicht genau kennt, also auch nicht weiſs, in welcher Tiefe man die wasserführende Schicht antreffen wird, so empfiehlt es sich, das Gestänge und die sonstigen Apparate in der Art vorzubereiten, daſs man im ungünstigen Falle ohne groſsen Aufenhalt das Bohrloch tiefer treiben kann. Häufig ist der Zufluſs aus einer wasserführenden Schicht zu geringe, als daſs er dem Bedürfnisse entspricht und alsdann muſs gleichfalls die Arbeit fortgesetzt werden, um in einer tieferen Schicht einen reicheren Quell zu eröffnen. In dieser Weise werden zuweilen mehrere wasserführende Schichten durchbohrt, und es kann nicht fehlen daſs man mitunter auch Schichten trifft, die nach ihrer Zusammensetzung wasserleitend sind, die jedoch von oben her nicht gespeist werden, wohl aber am untern Ende geöffnet sind. Durch diese kann augenscheinlich das Bohrloch sich nicht füllen, wohl aber wird das in demselben befindliche Wasser in sie abflieſsen. Es stellt sich alsdann ein Brunnen dar, der nicht Wasser liefert, sondern solches aufnimmt und abführt, man nennt ihn einen absorbirenden oder auch wohl einen negativen Brunnen. In Frankreich hat man solche mehrfach mit groſsem Nutzen angewendet.

Diese letzte Art Artesischer Brunnen ist indessen keineswegs von den gewöhnlichen wesentlich verschieden. Wie bereits erwähnt, giebt es jedesmal eine gewisse Höhe der Wassersäule, die dem Drucke in der wasserführenden Schicht entspricht. Erhebt sich die Steigeröhre nicht bis zu dieser Höhe, so flieſst das Wasser über, im entgegengesetzten Falle kann man durch den Brunnen Wasser ableiten. Derselbe Brunnen wird also unter Umständen Wasser geben, und wieder verschlucken. Ob dieses oder jenes geschieht, hängt gemeinhin nur davon ab, ob das Terrain neben dem Brunnen unter oder über demjenigen Niveau liegt, welches dem hydrostatischen Gleichgewichte entspricht.

Die absorbirenden Brunnen sind in mancher Beziehung so wichtig, daſs eine kurze Erwähnung der dabei wahrgenommenen Erscheinungen nicht umgangen werden kann. Zu St. Denis hatte man einen Artesischen Brunnen angelegt, dessen Wasser nicht den gewünschten Grad von Reinheit besaſs und welches überdieſs in solcher Menge hervorbrach, daſs namentlich im Winter die Passage auf den Straſsen beschwerlich und bei eintretendem Froste sogar gefährlich wurde. Die städtische Behörde wollte schon den Brunnen

wieder schliefsen, als im Jahre 1828 der Ingenieur Mulot sich erbot, alle Uebelstände zu beseitigen, ohne dafs der Brunnen eingehn dürfe. Dieses gelang in der That und es wurde ein Brunnen dargestellt, der zu den interessantesten gehört, die überhaupt vorkommen. Mulot benutzte zuerst eine absorbirende Schicht, deren Tiefe jedoch nicht angegeben ist, um das überflüssige Wasser fortzuschaffen. Die Bohrung wurde alsdann weiter fortgesetzt, und in der Tiefe von 157 Fufs fand er dieselbe reiche Wasserader, die schon früher benutzt war. Er ging aber noch weiter und schlofs in der Tiefe von 207 Fufs einen Quell von grofser Reinheit auf, der jedoch nicht stark genug war, um den ersten ganz entbehrlich zu machen. Eine Röhre von 3 Zoll Weite führt den letzten Quell herauf und liefert sonach das Wasser zum Trinken und Kochen. Diese Röhre steckt in einer andern, die 4 Zoll weiter ist, und das minder reine Wasser in ein Becken leitet, welches zugleich den ersten Quell aufnimmt, insofern er nicht benutzt wird. Das erwähnte Becken giefst endlich das überflüssige Wasser in ein darunter befindliches Reservoir, und dieses wird durch eine 11 Zoll weite Röhre, welche die beiden andern einschliefst, in die absorbirende Schicht gegossen. So steigt das Wasser an derselben Stelle aus zwei verschiedenen Tiefen herauf, und wird wieder in den Boden zurückgeleitet *).

In diesem Falle hatte man der absorbirenden Schicht nur reines Wasser zugeführt, wenige Jahre später versuchte man auch, auf dieselbe Art unreines Wasser abzuleiten. Der Abgang und das Spühligt einer Stärkefabrik zu Villetaneuse, einem Flecken ohnfern St. Denis, verunreinigte die Brunnen in der Nachbarschaft und nicht minder den Bach Enghien, worüber weit und breit Klagen erhoben wurden. Der Versuch, dasselbe durch Senkgruben fortzuschaffen, mifsglückte, und deshalb wurde im Jahre 1831 ein Ausschufs des Gesundheitsrathes mit der nähern Untersuchung der Angelegenheit beauftragt. Derselbe erkannte es für nothwendig, das schmutzige Wasser auf irgend eine Weise zu entfernen, und machte zugleich den Vorschlag, es in Bohrlöcher zu versenken. Der Ingenieur Mulot übernahm wieder die Ausführung, und es gelang demselben, in

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1833. II. p. 314.

der Tiefe von 204 Fuſs den gewünschten Abfluſs zu eröffnen. Während des Winters von 1832 auf 1833 verschluckte der Brunnen täglich 2570 Cubikfuſs oder in 33 Secunden einen Cubikfuſs, ohne daſs weder von den nächsten Nachbarn, noch sonst irgendwo eine Beschwerde erhoben wurde. Nachdem dieser günstige Erfolg bekannt geworden war, wurde bald bei einer andern Anlage gleichfalls in der Nähe von Paris dasselbe versucht, und zwar unter Umständen, die viel bedenklicher erschienen. In dem Bois de Bondy ohnfern des Ourcq-Canals, 4 Lieues von Paris, bestand nämlich seit geraumer Zeit eine Poudretfabrik, welche aus den Cloaken von Paris das Material bezieht und weit und breit um sich die Luft verpestete, auch das Wasser des Crou-Baches inficirte, der bei St. Denis in die Seine flieſst. Zur Einrichtung eines bequemen Betriebes der Fabrik wurde hier wieder durch Mulot, ohne daſs die Genehmigung dazu eingeholt war, ein absorbirendes Bohrloch eröffnet, welches innerhalb 24 Stunden über 4000 Cubikfuſs oder in 22 Secunden einen Cubikfuſs von dem höchst unreinen Wasser verschluckte. Als die Polizeibehörde hiervon Kenntniſs erhielt, lieſs sie aus Besorgniſs, daſs alle Artesische Brunnen bei Paris dadurch verunreinigt werden möchten, die Benutzung des Bohrloches einstellen und es wurde eine Commission zur Untersuchung des Gegenstandes niedergesetzt. Das Gutachten derselben sprach sich unbedingt für die Beibehaltung der Anlage aus. Manche Beispiele zeigten nämlich, daſs die wasserführenden Schichten, wenn sie verunreinigt werden, ihren Einfluſs nur auf die nächsten Umgebungen erstrecken, und besonders ergab sich dies am Irrenhause in Bicètre, wo man den Urin, Spühligt und dergleichen von 4000 bis 6000 Menschen seit dem Jahre 1810 in die zweite wasserführende Schicht geleitet hat, ohne daſs die Brunnen in der Nähe, die nach ihrer Tiefe zu urtheilen, durch dieselbe Schicht gespeist werden, eine Spur von Verunreinigung zeigen. Hiernach war nicht zu erwarten, daſs ein nachtheiliger Einfluſs sich bis nach Paris erstrecken könne. Bei Ausführung dieses Bohrloches hatte Mulot in der Tiefe von 125 bis 145 Fuſs in klüftigem Kalk eine absorbirende Schicht gefunden, die jedoch in 24 Stunden nur 1600 bis 2000 Cubikfuſs aufnahm, dagegen fand sich in der Tiefe von 210 bis 240 Fuſs eine Sandschicht, welche die erwähnte Masse verschluckte. Es ist auffallend, daſs die Capacität des Bohrloches nach

der Eröffnung desselben sehr schnell und ziemlich regelmäfsig zunahm *), dasselbe absorbirte nämlich

zu Ende März 1834	täglich	3460 Cubikfuſs
Anfang April -	-	4430 -
Mitte April -	-	4750 -
Ende April -	-	4750 -
Anfang Mai -	-	5070 -

Das Vertrauen zu Anlagen dieser Art nahm schnell zu, und im Jahre 1834 lieſs der Magistrat von Paris drei absorbirende Brunnen an den Thoren du Combat, de Saint-Mandé und de la Cunette ausführen. Der erste, der hauptsächlich einen sumpfigen District, dem die natürliche Entwässerung fehlt, trocken legen sollte, war in demselben Jahr durch Mulot auf 258 Fuſs herabgetrieben und im folgenden Winter stellte man Versuche über seine Capacität an. Diese gaben das überraschende Resultat, daſs er in einer Stunde 1620, 2260 und zuletzt sogar 3240 Cubikfuſs, oder in einer Secunde bis $\frac{9}{10}$ Cubikfuſs Wasser verschluckte. Die Weite der Röhre war nach der Tiefe verschieden, sie betrug zum Theil nur 5 Zoll. Man versuchte auch durch einen aufrecht schwimmenden Maaſsstab die Erhebung des Wasserspiegels im Bohrloche während des Zuflusses zu beobachten, doch gelang es nicht, hierüber zu einem entscheidenden Resulte zu kommen, weil der Schwimmer von dem abwärts gerichteten Strome heruntergezogen wurde. **)

In Bezug auf den ersten Zweck der Artesischen Brunnen, nämlich die Zuleitung von Wasser, muſs noch auf die verschiedenartige Benutzung desselben hingewiesen werden. Wenn durch dieses in einzelnen Fällen auch Mühlen und andre kleine Maschinen getrieben werden, so ist diese Verwendung doch nur von untergeordneter Bedeutung. Wichtiger ist es, daſs man zuweilen durch passende Zuleitung dieses Wassers, das wegen der groſsen Tiefe, aus der es tritt, auch im Winter eine höhere Temperatur behält, das Eis aus den Radstuben beseitigt, wie dieses namentlich in einer Papier-Fabrik bei Heilbronn geschieht.

---

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1833. II. *p.* 324 ff. und 1835. I. *p.* 126. Nach spätern mir gemachten Mittheilungen hat der Brunnen nach wenig Jahren zu wirken aufgehört.

**) *Annales des ponts et chaussées.* 1835. II. *p.* 362.

Die Versuche, durch Artesische Brunnen dem Wassermangel in Canälen und Hafenbassins abzuhelfen, haben überall unzulängliche Resultate gegeben. Dieses war sowol bei dem Hafen St. Ouen bei Paris der Fall, wie auch nach Seaward's Mittheilung bei einigen Canälen in und neben London. In gleicher Weise zeigte sich kein merklicher Erfolg, als man den nunmehr eingegangenen Max-Clemens-Canal bei Münster durch Artesische Brunnen speisen wollte.

Vielfach werden die Artesischen Brunnen zur Bewässerung von Gärten und anderer Culturen benutzt, ihr wichtigster Zweck bleibt aber unbedingt die Beschaffung von reinem Wasser für verschiedene industrielle Etablissements und vorzugsweise für den häuslichen Bedarf. In letzter Beziehung tritt ihr grofser Werth besonders in solchen Gegenden hervor, wo gewöhnliche Brunnen entweder gar kein Wasser oder nur unbrauchbares liefern. Der noch im Bau begriffene Norddeutsche Kriegshafen an der Mündung der Jade ist in meilenweiter Entfernung nur von niedrigen Marschen umgeben, die durch Alluvionen im Meere gebildet, die Bestandtheile des Seewassers noch so reichlich enthalten, dafs das Wasser in gewöhnlichen Brunnen, die man hier ausführen könnte, für den häuslichen Gebrauch ganz ungeeignet wäre. Es war hier üblich, neben den Gehöften tiefe Gruben auszuheben, die durch Thonschlag gedichtet waren, und welche sich beim Regen anfüllten. Indem aber die Verunreinigung nicht verhindert war, so konnte man das Wasser nicht trinken, wenn es auch zum Kochen benutzt wurde. Beim Beginne des Hafenbaues wurde zunächst eine grofse ausgemauerte und überwölbte Cisterne in dem Dienstgebäude der Bau-Beamten ausgeführt, welche durch die Dachrinnen gespeist, bei dem damaligen noch geringen Bedürfnisse und bei den starken Niederschlägen in dortiger Gegend sich als genügend erwies. Später mufste indessen in andrer Weise gesorgt werden, und da das nächstgelegene höhere Terrain in den Umgebungen von Jever über eine Meile entfernt ist, auch die dortigen Brunnen nur spärlich Wasser sammeln, so schien es nothwendig mit Artesischen Brunnen den Versuch zu machen. Der erste Bohrversuch, in den Jahren 1856 und 1857 ausgeführt, und etwa bis auf 200 Fufs Tiefe fortgesetzt, gab kein Resultat und mufste aufgegeben werden, da die Futterröhre so beschädigt war, dafs sie weder weiter herabgetrieben, noch eine andere darin eingeschoben werden konnte.

Im Jahre 1862 wurde ein zweiter Versuch an einer andern Stelle des Hafengebietes begonnen, nachdem Seitens der Bergbehörde die gutachtliche Aeufserung dahin abgegeben war, dafs der Erfolg zwar keineswegs ganz sicher, es aber dennoch wahrscheinlich sei, dafs die Kreide, die bei Braunschweig und Helgoland, so wie auch an manchen zwischenliegenden Punkten zu Tage tritt, und die man in Glückstadt in der Tiefe von 480 Fufs angebohrt hat, auch hier durchstreiche, und man daher hoffen dürfe, über oder in ihr Quellen zu finden, die von viel höher liegenden Gegenden gespeist werden. Man erwartete, in der Tiefe von 400 bis 500 Fufs die wasserhaltende Schicht zu erreichen.

Mit einer 24 Zoll weiten Röhre wurde der Anfang gemacht, jedoch diese nur bis auf 12 Fufs durch die Dargschicht getrieben. Hierin wurde ein 18zölliges Rohr gestellt, welches 34 Fufs tief eindrang. Den weiten Zwischenraum zwischen beiden vergofs man mit dünnflüssigem Cement, um das unreine Wasser aus den obern Erdschichten abzuhalten. Nunmehr wurde eine 14zöllige, alsdann eine 12zöllige, ferner eine 10zöllige, in diese eine 8zöllige und darin wieder eine 6zöllige Röhre eingeschoben. Mit der letzteren erreichte man endlich in der Tiefe 636 Fufs einen Quell süfsen Wassers, der nicht nur die ganze Röhre füllte, sondern auch etwa 3 Fufs über der allgemeinen Terrainhöhe abflofs.

Das Resultat war wegen der sehr geringen Wassermasse keineswegs befriedigend, nämlich 350 Cubikfufs in 24 Stunden, oder in 4 Minuten nahe 1 Cubikfufs, aber es erweckte doch die Hoffnung, dafs man auf diesem Wege das Bedürfnifs befriedigen könne. Das Wasser ist so rein, dafs es als Trinkwasser benutzt wird, wenn es auch eine geringe Masse Salz enthält, nämlich etwa $\frac{1}{4}$ Procent. In dieser Beziehung soll es aber seit Eröffnung des Brunnens sich schon merklich verbessert haben.

Gegenwärtig hat man einen zweiten Brunnen in geringer Entfernung vom ersten und zwar in gröfseren Dimensionen abgeteuft, der aber in der Tiefe von 687 Fufs die wasserführende Schicht noch nicht erreicht hat. Man schliefst hieraus, dafs derselbe die Ergiebigkeit des ersten Brunnens nicht vermindern wird.

Wenn die Wassermenge eines Artesischen Brunnens dem Bedürfnisse nicht entspricht, so läfst sich dieselbe dadurch etwas vergröfsern, dafs man das Niveau in der Steigeröhre senkt, und hier-

durch, wie sich aus Obigem ergiebt, den Zuflufs aus der wasserführenden Schicht verstärkt. Man hat in England mehrfach dieses Mittel mit Erfolg angewendet, indem man aus der Röhre einen Abflufs nach einem weiten Brunnenkessel eröffnet, der durch eine Schöpfmaschine ausgepumpt wird.

Endlich sind die Artesischen Brunnen auch vielfach benutzt worden, um aus Steinsalzlagern in grofser Tiefe eine reiche Soole zu gewinnen, welche das Gradiren ganz oder theilweise entbehrlich macht. Dieses ist z. B. bei Rehme ohnfern Minden in dem Bade Oynhausen geschehn. Es sind daselbst zwei Brunnen etwa 2000 Fufs tief gebohrt, von denen der zweite nur für die Soolbäder benutzt wird, die er sämmtlich speist, ohne dafs dabei eine Schöpfmaschine erforderlich wäre. Indem jedoch diese Bäder mit sehr seltenen Ausnahmen nur während des Sommers benutzt werden, so hat man sich bemüht, während der übrigen Zeit den Brunnen zu schliefsen, um die werthvolle Soole nicht zwecklos abfliefsen zu lassen. Dieser Versuch ist jedoch bis jetzt noch nicht geglückt, da man bei dem sehr starken Wasserdrucke die Vorrichtung, woran sich der Ablafshahn befindet, nicht sicher und hinreichend dicht schliefsend befestigen konnte.

Beim Vortreten der Soole findet häufig auch ein starkes Ausströmen von Gas statt. Im Bade Oynhausen wird kohlensaures Gas in einem Gasometer aufgefangen, und dieses leitet man in besondere Räume der Badehäuser. Auf der Saline Gottesgabe bei Rheine an der Ems giebt dagegen das Bohrloch Kohlenwasserstoffgas, das zur Beleuchtung und zum Kochen verwendet wurde.

§. 10.
Artesische Brunnen: das Gestänge.

Die Ausführung der Artesischen Brunnen wird vorzugsweise durch die grofse Tiefe derselben erschwert, die nicht gestattet, die Bohrer und sonstigen Apparate unmittelbar zu fassen und ihnen die gehörige Richtung und Haltung zu geben, dieses mufs vielmehr durch Vermittelung des Gestänges oder auch eines Seils von hunderten und selbst tausenden Fufs Länge geschehn. Das Bohrloch soll aber

immer senkrecht gehalten werden und einen bestimmten und regelmäfsigen Querschnitt haben, weil sonst der Bohrer nicht gehörig wirken könnte, auch die Einführung der Futter- und Steigeröhren unmöglich würde. Dazu kommt noch, dafs der Boden oft von sehr wechselnder Beschaffenheit ist, so dafs man bald auf Sand und bald auf feste Geschiebe trifft, von denen der erstere eine Ausfütterung verlangt und die letzten nicht mit gewöhnlichen Erdbohrern, sondern mit Meifseln durchstofsen werden müssen, und dafs vielleicht unter diesen wieder eine lose Schicht, oder ein bröckelndes Gestein liegt, welches die Einbringung von Futterröhren aufs Neue fordert. Den gröfsten Uebelstand bilden die Zufälligkeiten, die bei solcher Arbeit unvermeidlich sind. Einzelne Theile des Apparats brechen und bleiben im Bohrloche stecken, hin und wieder fallen Schrauben oder andere Stücke herab, die bereits eingesetzten Futterröhren werden beschädigt und dergleichen mehr. Auf solche Art ist der Erfolg dieser Anlagen immer weit unsicherer, als der von andern Bauwerken, und dieses nicht nur in Bezug auf die Tiefe, worin die Quellen angetroffen werden, sondern auch auf die Arbeit selbst. Wenn bei geschickter Leitung und bei hinreichenden Geldmitteln diese Schwierigkeiten auch meist zu überwinden sind, bleiben die vielfachen unerwarteten Unterbrechungen doch überaus störend. Anfangs schreitet das Bohren sehr schnell vor, doch bald werden alle Operationen viel zeitraubender, und in der Tiefe von einigen Hundert Fufs pflegt man täglich kaum einen Fufs zu gewinnen, und dabei werden die zufälligen Störungen immer häufiger und bedenklicher. Bricht in grofser Tiefe ein Theil des Apparats und stürzt in das Bohrloch herab, so müssen zahllose Versuche gemacht werden, das verlorne Stück wieder zu fassen. Eine Methode, deren Erfolg ganz sicher wäre, giebt es nicht und bei der unendlichen Mannigfaltigkeit der Zufälle, die hierbei eintreten können, und die man von oben her auch nicht immer zu beurtheilen im Stande ist, bleibt nur übrig, ein und das andere Mittel zu versuchen, bis es oft nach Wochen und selbst nach Monaten gelingt, das verlorne Stück zu fassen und zu heben.

Beim Bohren werden zwei wesentlich verschiedene Methoden angewandt, nämlich entweder mit festem Gestänge, oder mit dem Seile. Nach der ersteren wird der Stiel des Bohrers bei der zunehmenden Tiefe des Bohrloches nach und nach durch angesetzte

Stangen verlängert, und indem die Bewegung, die man der obersten Stange giebt, sich durch die folgenden dem Bohrer mittheilt, so behält man immer einigermaaſsen die Führung des Bohrers und kann ihn wenigstens drehn und in jeder beliebigen Richtung herablassen. Ein groſser Uebelstand hierbei ist der Zeitverlust, den jedesmal das Herausheben und Wiedereinstellen des Bohrers verursacht, indem das Gestänge in einzelne Theile zerlegt werden muſs, wozu bei gröſseren Tiefen mehrere Stunden, auch wohl halbe Tage gehören, so daſs gemeinhin der gröſste Theil der Zeit auf das immer wiederholte Auseinandernehmen und Zusammensetzen des Gestänges verwendet wird. Das groſse Gewicht und die Kostbarkeit eines langen Gestänges sind gleichfalls Uebelstände dieser Methode. Beim Seilbohren wird das Gestänge durch ein Seil ersetzt, woran der Bohrer hängt. Will man letzteren haben, so braucht man nur das Seil aufzuwinden, was in einer ungleich kürzeren Zeit geschieht. Dagegen vermiſst man bei dieser Methode den groſsen Vortheil, daſs man den Bohrer beliebig drehn kann und sonach wird theils das Durchfahren von lockern Erdschichten beinahe unmöglich, theils aber nehmen auch die Schwierigkeiten beim Fassen herabgestürzter oder zerbrochener Bohrer in hohem Grade zu. Das Seilbohren findet daher seine eigentliche Anwendung nur in festem und zusammenhängendem Gesteine. Die dazu gehörigen Apparate lassen sich mit minderen Kosten beschaffen, und wenn kein Bruch sich ereignet und alle Arbeiten glücklich von Statten gehn, so kann man die Anlage selbst in kürzerer Zeit, als nach der ersten Methode, beendigen. Doch ist jene unbedingt viel sicherer im Erfolge, woher sie in neuerer Zeit beinahe ausschlieſslich angewendet wird.

Das Gestänge bildet die Verlängerung der Bohrer und der sonstigen Instrumente zum Aufräumen und Vertiefen der Bohrlöcher. Es besteht aus Stangen von geschmiedetem Eisen, die an ihren Enden mit Vorrichtungen versehn sind, wodurch sie möglichst leicht und fest verbunden werden können. Diese einzelnen Theile oder Glieder müssen nicht nur die nöthige Stärke und Festigkeit besitzen, um nicht unter der eignen Last zu zerreiſsen, sondern sie müssen auch der Drehung und dem verstärkten Zuge widerstehn, wenn der Bohrer sich klemmen sollte. Da ein zu groſser Querschnitt ihr Gewicht unnöthiger Weise vermehren und dadurch die Arbeit erschweren würde, so müssen namentlich lange Gestänge aus dem

besten Material und sorgfältig bearbeitet sein. Die Stangen haben jedesmal einen quadratischen Querschnitt, damit sie an jeder Stelle mit dem Schlüssel sicher gefaſst und gedreht werden können. Ihre Stärke ist von der Länge und zum Theil auch von der Weite des Bohrloches und manchen Eigenthümlichkeiten des Bodens abhängig, die einen gröſseren oder minderen Widerstand bedingen. Der geringste Querschnitt eines Gestänges, welches dauernd benutzt werden soll, beträgt 1 Quadratzoll, für gröſsere Tiefen von etwa 200 Fuſs pflegt die Seite des Quadrates schon 1¼ Zoll zu messen, und 1½ Zoll, wenn man gegen 1000 Fuſs herabgehn will. Beim Bohrapparate, der im Schlachthause von Grenelle zu Paris angewandt wurde, hielt der Querschnitt des Gestänges beinahe 4 Quadratzoll.

Man könnte meinen, daſs bei gröſserer Tiefe nur die obern Glieder verstärkt werden dürfen, doch lehrt die Erfahrung, daſs die untern der Gefahr des Biegens immer am meisten ausgesetzt sind, und daher pflegt man in Frankreich, wenn man nicht einen gleichen Querschnitt wählt, diesen sogar in den untern Gliedern zu verstärken. Bei dem ersten in Artern herabgeführten Bohrloch hatte der gröſste Theil des Gestänges nur den Querschnitt von 1 Quadratzoll, während die untern Stangen 1¼ Zoll in der Seite hielten, doch wurde das Gestänge hier auch besonders stark angegriffen.

Die Länge der einzelnen Glieder pflegt man um so gröſser anzunehmen, je tiefer voraussichtlich das Bohrloch abzuteufen ist, weil alsdann wegen der schwierigeren und ausgedehnteren Arbeit die Einrichtungen vollständiger getroffen werden müssen und höhere Bohrthürme nicht zu vermeiden sind. In neuerer Zeit giebt man aber den Gliedern gewöhnlich die Länge von 20 bis 30 Fuſs, während einzelne kürzere Glieder nach Bedürfniſs aufgesteckt werden, damit das Gestänge beim Bohren nicht zu weit die Mündung des Bohrloches überragt.

Die Art der Verbindung der einzelnen Glieder ist sehr verschieden, aber keine derselben entspricht vollständig allen Anforderungen, die man an ein Gestänge macht. Eine Hauptbedingung ist, daſs die Theile nicht nur gegen eine zufällige Trennung gesichert sind, sondern auch so fest schlieſsen, daſs sie nicht schlottern. Ferner muſs eine Drehung des Gestänges wenigstens in einer Richtung vorgenommen werden können, es ist aber vortheilhaft, wenn nöthigenfalls auch rückwärts gedreht werden kann, denn ein festgeklemm-

ter Bohrer läſst sich auf diese Art am leichtesten lösen. Sodann muſs das Verfahren beim Auseinandernehmen und Zusammensetzen des Gestänges möglichst einfach und wenig zeitraubend sein, und endlich ist es noch von groſser Wichtigkeit, daſs keine kleineren Verbindungsstücke, wie Schraubenbolzen oder Muttern, vorkommen, da diese leicht in das Bohrloch herabfallen und alsdann nur nach vielfachem Suchen wieder heraufgebracht oder seitwärts gedrängt werden können.

Die einfachste und vielleicht auch die beste Art der Verbindung der Glieder ist die gewöhnliche Schraube, indem jedes Glied an einem Ende mit einer Schraubenspindel und am andern mit einer Mutter versehn ist. Die Schraube darf aber keine schwache Stelle im Gestänge bilden, vielmehr muſs sie denselben Querschnitt, wie der übrige Theil des Gestänges haben, woher die Mutter eine entsprechende Verstärkung oder einen Bundring auf dem Gliede bildet. Wollte man beim scharfen Anziehn der Schraube nur die Oberfläche der Spindel gegen den Boden der Oeffnung in der Mutter drücken lassen, so würde die Verbindung nicht fest genug sein, indem theils die Fläche, auf der die Reibung erfolgt, zu klein ist, und theils auch die Schraubengänge in der Mutter nahe am Boden nicht scharf ausgeschnitten werden können. Aus diesem Grunde versieht man auch dasjenige Ende des Gliedes, woran die Schraubenspindel sich befindet, mit einem Bundringe, und beide äuſsere Flächen dieser Bünde werden abgedreht, so daſs beim Anziehn der Schraube zwischen ihnen der scharfe Schluſs erfolgt. Die Schraubenspindel muſs dabei so kurz sein, daſs sie den Boden der Mutter nicht berührt, auch bei einem später erfolgenden tieferen Eindringen nicht dagegen stöſst. Um eine noch innigere Berührung hervorzubringen, werden zuweilen die Endflächen flach abgedreht, die eine hohl, die andere erhaben, wie Fig. 10, und zwar *a* im Durchschnitt und *b* in der Seitenansicht, zeigt. Dabei wird noch der Vortheil erreicht, daſs nicht nur die Schraube, sondern auch diese conischen Flächen eine scharfe Centrirung des Gestänges veranlassen.

Wie fest und einfach diese Verbindung auch immer ist, so tritt dabei der Uebelstand ein, daſs man den Bohrer nicht zurückdrehn darf, weil sich sonst die Glieder lösen. Man hat zwar manche Vorrichtungen zur Verhütung des Auslösens beim Zurückdrehn vorgeschlagen und zuweilen auch wirklich ausgeführt, dabei wird aber

das scharfe Anziehn der Schraube und dadurch die Festigkeit und Steifigkeit des Gestänges beeinträchtigt.

Zuweilen wählt man statt der Schrauben, gabelförmige Verbindungen, wobei das Ende des einen Gliedes das des nächsten umfaſst und mittelst Seitenschrauben gehalten wird. Auch hierbei kommen manche Modificationen vor, sowie überhaupt fast bei jedem neuen Gestänge, auch einige Aenderungen versucht werden. Die von Garnier empfohlne Verbindung, Fig. 11, gestattet das Zurückdrehn des Bohrers. Der gröſste Uebelstand dabei ist das Vorkommen der losen Schraubenbolzen und Muttern, von denen die letzten jedoch ohne Nachtheil entbehrt werden können, wenn die Gewinde in die hintern Lappen eingeschnitten werden. Wenn man Muttern anwendet, so müssen die Schraubenbolzen in der Nähe des Kopfes viereckig ausgeschmiedet sein, und einen gleichen Querschnitt müssen auch die Löcher in dem vorderen Lappen haben, weil sonst beim Anziehn der Muttern die Schraubenbolzen sich drehn würden. Ferner ist zu bemerken, wie dieses auch die Figur zeigt, daſs die Bolzen in entgegengesetzer Richtung eingesteckt werden, damit sie gleichzeitig durch zwei Arbeiter befestigt und gelöſst werden können. Noch muſs erinnnert werden, daſs eine gleichmäſsige Bearbeitung aller Theile nothwendig ist, damit die einzelnen Glieder nicht ihrer Reihenfolge nach ausgesucht werden dürfen.

Das Gestänge darf während des Bohrens nicht auf der Sohle des Bohrloches ruhen, weil es dabei sich theils biegen, theils auch durch sein Gewicht das Drehn verhindern würde. Es hängt daher dauernd an der Rüstung und ist mit dem Windetau durch ein Kopfstück oder einen Bohrwirbel verbunden, den Fig. 12 in seiner einfachsten Form zeigt. In neuerer Zeit pflegt man diesen jedoch nicht unmittelbar an das Tau, vielmehr an eine etwa 2 Fuſs lange Schraubenspindel zu hängen. Man erreicht dabei den Vortheil, daſs man beim Drehn der gewöhnlichen Erdbohrer, um diese tiefer eingreifen zu lassen, nicht mittelst der Winde das Gestänge zu senken braucht, sondern hierzu schon die Schraube Gelegenheit bietet. Fig. 33 auf Taf. III. zeigt diese Vorrichtung.

Soll das Gestänge in die einzelnen Glieder zerlegt oder aus diesen zusammengesetzt werden, so muſs man das erwähnte Kopfstück beseitigen und dafür das Gestänge in andrer Weise fassen. Besonders bequem und sicher für diesen Zweck ist der Doppelhaken,

den Fig. 13 *a* und *b* in der Ansicht von vorn und von der Seite zeigt. Die Entfernung seiner beiden Arme von einander ist so grofs, dafs zwar der mittlere Theil eines Gliedes, aber nicht die Verstärkung oder der Bundring dazwischen Raum finden. Zur gröfseren Sicherheit werden die beiden Arme an ihren Enden noch mit einem Bolzen verbunden, um das gefafste Glied nicht entweichen zu lassen. Der Haken mufs übrigens so geformt sein, dafs er den Kopf jedes Gliedes in der Mitte trägt, und nirgend ein Klemmen oder Biegen erfolgt. Der Fig. 14 *a* und *b* dargestellte Haken fafst nicht nur den Kopf des Gliedes, sondern jede Stelle des Gestänges. Fig. 14 *a* zeigt, wie er beim Eingreifen eine etwas schräge Lage annimmt, und der starke Seitendruck alsdann die nöthige Reibung veranlafst. Bei seinem Gebrauche tritt aber die Gefahr ein, dafs er die Stange verbiegt und man mufs daher, während das Gestänge daran hängt, jede Erschütterung vermeiden.

In neuerer Zeit bedient man sich hierzu vorzugsweise der Abfange-Schere, die Taf. III. Fig. 38 dargestellt ist. Die beiden, an einem Ende durch ein Charnier verbundenen Arme derselben lassen zwischen sich, wenn sie geschlossen sind, einen quadratischen Raum frei, der dem Querschnitte des Gestänges entspricht, durch welchen also die Bundringe nich hindurchgleiten können. Damit die Schere sich aber nicht zufällig öffnet, so werden die Arme an dem, dem Charnier entgegengesetzten Ende durch einen starken Ueberwurf zusammengehalten. Beim Heben oder Senken des Gestänges ruht die Schere auf dem obern Ende der Bohrröhre, über welche sie auf beiden Seiten noch übertritt.

Will man das Gestänge ausheben, dessen oberes Ende jedesmal an dem Windetau hängt, so hebt man es mittelst des letzteren so weit, dafs der Bundring, der sich zunächst unter dem zu lösenden Theile befindet, über die Bohrröhre tritt, und fafst diesen Ring mit der Schere oder dem Doppelhaken. Alsdann kann man den frei schwebenden Theil, der aus einem oder zwei Gliedern besteht, lösen und in den Bohrthurm stellen. Dieselbe Operation wiederholt sich beim Lösen der folgenden Theile. Damit aber dieselbe Winde beim jedesmaligen Heben des Gestänges benutzt werden kann, und die Haken nicht gewechselt werden dürfen, versieht man zuweilen das obere Ende jedes Gliedes mit zwei Bundringen, so dafs jeder derselben besonders gefafst werden kann. Hierdurch wird das wieder-

holte Anbringen des Kopfstückes vermieden. Beim Herablassen des Gestänges wiederholt sich dasselbe Verfahren in umgekehrter Reihenfolge.

Ueber das Anknüpfen eines starken Taues an einen eisernen Ring oder Haken mag hier gleich das Nöthige bemerkt werden. Wollte man das Tau unmittelbar um den eisernen Ring schlingen, so würden bei der scharfen Biegung des Taues die Fäden sehr ungleich gespannt werden, und indem die am stärksten gespannten bald zerreifsen, so kämen nach und nach alle Theile des Taues zum Bruche, und der ganzen Verbindung fehlte die nöthige Festigkeit. Aufserdem aber würde bei jeder Bewegung auch der Ring gegen das Tau reiben und letzteres leicht abnutzen. Aus diesen Gründen pflegt man nicht nur im vorliegenden Falle, sondern bei jeder dauernden Benutzung von Hebezeugen die in Fig. 14 Taf. I. dargestellte Vorrichtung anzuwenden, die man eine Kausche nennt. Sie besteht aus einem Ringe von Eisenblech von 2 bis 3 Zoll Durchmesser, doch ist das Blech, bevor es zum Ringe gebogen wird, als flache Rinne ausgeschmiedet worden. In diese wird das Tau gelegt. Die Befestigung oder das Anknüpfen des Taues geschieht, wie Fig. 14 *b* zeigt, durch einmaliges Umschlingen, also durch einen halben Knoten oder einen einfachen Schlag. Nachdem das Tau umgelegt ist, klopft man die scharfe Windung bei *B* mit einem hölzernen Hammer möglichst fest, während man bei *A* das Tau hält, und zieht alsdann das kurze Ende herauf und bindet es mit einer dünnen Leine scharf gegen das längere. Diese Verbindung ist nicht nur vollkommen sicher, sondern auch so fest, dafs die Kausche immer scharf eingeklemmt bleibt und daher gegen das Tau nicht reiben kann.

Zum Drehen des Gestänges bedient man sich eines Hebels, der doppelarmig sein mufs, weil ein einarmiger das Gestänge verbiegen würde. Fig. 15 *a* und *b* auf Taf. II. zeigen in der Ansicht von der Seite und von oben einen solchen Hebel, der aus Holz besteht. Derselbe wird auf das Gestänge von oben aufgesteckt, und die Oeffnung *A* ist so geräumig, dafs sie nicht nur über die einzelnen Glieder, sondern auch über die Verbindung von zweien geschoben werden kann. Damit das Holz nicht spaltet, sind zwei eiserne Ringe *B* aufgetrieben, und in dem einen derselben ist ein Einschnitt von der Gröfse des Querschnittes des Gestänges angebracht, worin dieses beim Einstellen gelegt wird (Fig. 15 *b*). Ist

letzteres geschehn, so schliefst man die Oeffnung A mit einem hölzernen Keile C und treibt denselben fest ein. Dieser Hebel wurde von Garnier empfohlen, doch bedient man sich in neuerer Zeit gewöhnlich eines eisernen. Einen solchen und zwar, wie er in Frankreich angewendet wurde, zeigt Fig. 16. Derselbe ist nicht nur sehr bequem, sondern gewährt auch den Vortheil, dafs gar keine losen Theile dabei vorkommen. Es trifft sich indessen zuweilen, dafs man eine sehr grofse Kraft anzuwenden gezwungen ist. In diesem Falle mufs man noch lange Hebel, wie Schraubenschlüssel geformt, in Bereitschaft halten. Ein solcher ist Fig. 17 dargestellt. Letztere werden auch zur Zusammensetzung des Gestänges benutzt, falls die Glieder durch Schrauben verbunden sind.

Wenn die Tiefe des Bohrloches sehr grofs und ein festes Gestein zu durchfahren ist, das nur durch fortgesetztes Aufstofsen der meifselartigen Bohrer zerbröckelt werden kann, so treten bei Anwendung des bisher beschriebenen fest verbundenen Gestänges wesentliche Schwierigkeiten ein, indem theils die zu hebende Masse einen sehr grofsen Kraftaufwand erfordert, theils aber das Gestänge, indem es sich bei jedem Stofse plötzlich auf sein unteres Ende oder auf den Bohrer aufstellt, heftigen Erschütterungen und vielfachen Beschädigungen ausgesetzt wird. Dazu kommt noch, dafs der Stofs des Bohrers in Folge der Wirkung des schweren Gegengewichtes, das bei dieser Art der Bewegung nicht vermieden werden kann, weniger scharf und kräftig ist, als wenn ein leichteres Gestänge frei herabfällt.

Man setzt aus diesen Gründen die langen Gestänge, und zwar wenn die Bohrer durch den Stofs wirken sollen, aus zwei verschiedenen Theilen zusammen, die zwar mit einander verbunden sind, so dafs beim Herausziehn des obern, der untere mit gehoben wird, die jedoch innerhalb gewisser Grenzen sich unabhängig von einander bewegen können. Indem der obere Theil, der viel länger, als der untere ist, auf diese Art vor Erschütterungen geschützt wird, so ist es zulässig, demselben einen geringeren Querschnitt zu geben, als ein in gewöhnlicher Weise zusammengesetztes Gestänge erfordert haben würde. Man hat denselben Zweck auch auf andre Art zu erreichen versucht, namentlich durch Anwendung von hölzernen Latten und eisernen Hohlcylindern statt der eisernen Stangen. In beiden Fällen tritt aber bei dem Eintauchen in das Wasser, das sich im

Bohrloche sammelt, eine bedeutende Verminderung des Gewichtes ein. Ein solches Hohlgestänge von 1¼ Zoll lichter Weite und 2 Linien Wandstärke wurde bei der Ausführung des ersten Bohrloches bei Rehme angewendet.

Passender war die bereits erwähnte Trennung des Gestänges, die von Oynhausen bei Ausführung desselben Bohrbrunnens gleichfalls vornahm. Um nämlich das Gestänge den Erschütterungen beim Aufstofsen der Bohrer zu entziehn, wurde der untere etwa 100 Fufs lange und besonders stark construirte Theil an ein sogenanntes Wechselstück gehängt. Dieses besteht, wie Fig. 34, *a* und *b* auf Taf. III in der Seitenansicht und im Querschnitt zeigt, aus einer aufgeschlitzten starken Röhre, die etwa 2 Fufs lang ist und eine mit durchgreifenden Armen versehene Stange umfafst. Letztere kann sich auf und ab bewegen, und legt sich beim Heben des Gestänges mit ihren Armen auf den untern Ring auf. Bei dieser Verbindung wird nur der untere Theil des Gestänges von der Erschütterung beim Aufstofsen des Bohrers getroffen.

Um ferner den untern Theil des Gestänges ganz frei, also unabhängig von dem obern herabfallen zu lassen, hat man auch das sogenannte Fallstück an Stelle des Wechselstückes benutzt. Es unterscheidet sich von diesem dadurch, dafs die erwähnten Arme zwar in den Schlitzen frei herabfallen, aber beim Anheben des Gestänges durch Seiten-Ansätze zurückgehalten werden, so dafs sie nicht auf dem untern Ringe aufliegen. Sobald daher diese Hemmung beseitigt wird, so fällt der untere Theil mit dem Bohrer frei herab, während der obere Theil des Gestänges ihm langsam folgt. Die Darstellung und Lösung dieser Hemmung ist auf verschiedene Weise versucht worden. Am einfachsten erfolgt sie dadurch, dafs das Gestänge nach der einen, oder der andern Seite durch den Bohrmeister etwas gedreht wird, und zwar so rasch, dafs diese Bewegung sich auf den untern Theil nicht überträgt.

Von grofser Wichtigkeit ist es, die Länge jedes einzelnen Gliedes vom Gestänge so wie auch jedes Bohrers sorgfältig zu messen, damit man jederzeit bis auf einen Zoll genau angeben kann, in welcher Tiefe der Bohrer arbeitet. Wenn man auch im Allgemeinen hierauf schon grofse Aufmerksamkeit zu verwenden pflegt, um den Fortgang der Arbeit zu controlliren, so ist dieses doch besonders nöthig, sobald man gebrochene oder gelöste und herabgefallene

Theile des Apparates fassen und heben will, oder wenn man festen Geschieben begegnet.

§. 11.

Artesische Brunnen: die Bohrer.

Die Einrichtung und Form der Bohrer ist nach der Beschaffenheit des Bodens, worin sie benutzt werden, wesentlich verschieden, auch sind dieselben vielfach verändert worden, indem man sie in einer oder der andern Beziehung brauchbarer zu machen gesucht hat. Eine vollständige Aufzählung aller verschiedenen Modificationen würde zu weit führen, hier sollen nur die Hauptformen und namentlich solche, die im aufgeschwemmten Boden brauchbar sind, beschrieben werden. Jeder Bohrer ist an einem Stiele befestigt, der mit demselben Kopfe versehn ist, wie jedes andere Glied des Gestänges und kann sonach mit allen Gliedern verbunden werden. Die Dimensionen der Bohrer entsprechen in den meisten Fällen der Weite des Bohrloches.

Für Bohrer, die in Erde, Lehm und festem Sande arbeiten, bildet die in Taf. II Fig. 18 *a* und *b* dargestellte Form den Haupttypus. Dieselbe kommt freilich nur selten vor, doch mufs sie zuerst erwähnt werden, weil die andern gewöhnlichen Formen aus ihr abgeleitet sind. Der vollständige cylindrische Mantel ist am Boden durch eine Fläche geschlossen, die sich spiralförmig, wie ein Schraubengang, um einen senkrechten Dorn windet. Diese Bodenfläche entsteht, indem ein Halbmesser des Cylinders sich um die Achse dreht und dabei gleichmäfsig längs der Achse sich bewegt. In eine leicht trennbare, aber doch cohärirende Erde schneidet bei eintretender Drehung die Bodenfläche sich schraubenförmig ein, und sobald man den Bohrer hebt, wird die abgeschnittene Erdmasse vollständig unterstützt und getragen, so dafs sie nicht herabfallen kann, sondern zugleich mit dem Bohrer gehoben wird. Man pflegt indessen diese Einrichtung nicht leicht zu wählen, weil eines Theils die Anfertigung Schwierigkeiten bietet, und sodann, weil die Reibung und das Ankleben einer zähen Erde auf der Bodenfläche den Gebrauch des Bohrers erschwert. Dazu kommt noch die Unbequemlichkeit, den

Inhalt herauszuschaffen, oder den Bohrer zu leeren. Nur bei reinem Sande verschwinden diese Uebelstände, doch fliefst der Sand, sobald er viel Wasser enthält, von selbst heraus und namentlich erfolgt dieses in der Nähe der Achse, wo der Boden am stärksten geneigt ist.

Die gewöhnlichste Form des Erd- oder Brunnenbohrers, die sich auch für einen lehmigen Grund vorzüglich eignet, ist Fig. 19 *a* und *b* in zwei Seitenansichten und Fig. 19 *c* im Grundrisse dargestellt. Die Cylinderfläche ist nicht geschlossen, ihr fehlt vielmehr der zehnte bis der dritte Theil, und zwar ist diese gröfste Oeffnung bei der Durchbohrung eines sehr zähen Thones vortheilhaft, weil sie die Entleerung des Instrumentes erleichtert, bei stärkerer Sandbeimengung ist dagegen eine vollständigere Umschliefsung erforderlich. Die Bodenfläche stellt wieder ein Schraubengewinde dar, doch fehlt der mittlere Theil desselben. Man pflegt auch an dem Boden eine etwas vortretende Zunge *D* anzubringen, welche zuweilen den Schraubengang zu einer vollen Windung ergänzt, während der Cylindermantel die weite Spalte behält. John Good brachte bei diesem Instrumente noch die Aenderung an, dafs er die Bodenfläche nicht anniethete, wie gewöhnlich geschieht, sondern sie vielmehr durch Schrauben gegen die Cylinderfläche befestigte, wie Fig. 20 im Querschnitte zeigt, wodurch er den Vortheil erreichte, dafs er die Zunge *D*, die beim Gebrauche am meisten leidet, sobald es nöthig ist, schärfen, auch frisch verstähien konnte.

Die Befestigung des Bodens an die Cylinderfläche bildet indessen eine schwache Stelle im Bohrer, und man hat daher die Aenderung eingeführt, dafs man durch Krümmung die eine Fläche in die andere übergehn läfst, ohngefähr in der Art, als wenn der Cylinder durch eine Halbkugel geschlossen wäre, wobei der Quadrant, der durch seine Drehung um die Achse die Halbkugel erzeugt, bei dieser Drehung auch gleichmäfsig längs der Achse fortrückt. Diesen Bohrer zeigt Fig. 21 in der Seitenansicht.

Bei einem sehr zähen Thonboden pflegt man das Bohrloch nicht sogleich in der vollen Weite zu öffnen, sondern ein 3 bis 4 Zoll weites Loch vorzubohren und dieses später zu vergröfsern. Zum Vorbohren dient der Fig. 22 *a*, *b* und *c* dargestellte Bohrer, der mit dem gewöhnlichen Löffelbohrer der Zimmerleute genau übereinstimmt und wesentlich nichts andres ist, als der eben erwähnte abgerundete

Erdbohrer (Fig. 21). Er hat den cylindrischen Mantel, die Bodenfläche und die vortretende Zunge *D*, und unterscheidet sich nur dadurch, daſs er nur zur Hälfte umschlossen ist.

Der zur Erweiterung dienende Bohrer muſs unten in eine Spitze auslaufen, damit er sich immer in die Achse des engeren Bohrloches einstellt, und insofern er von dem zähen Thone nur dünne Schalen abschneidet, so haften dieselben an ihm, wenn er auch noch bedeutend weniger, als den halben Cylinder umfaſst. Fig. 23 *a*, *b* und *c* zeigt einen solchen. Zuweilen schneidet man von diesem Bohrer noch die Hinterfläche des Löffels aus, so daſs nur ein Reif übrig bleibt, der nicht nur schneidet, sondern auch den abgeschnitten Thon festhält. Um das Anhaften zu befördern, hat man diesem Reif zuweilen verschiedene Biegungen und scharfe Falten gegeben. Andrerseits aber hat man die Löffelform auch ganz verlassen und beide Schenkel mit Schneiden versehn, so daſs sie bei der Drehung gleichmäſsig zur Wirksamkeit kommen. Fig. 24 *a* und *b* zeigt diese Form.

Indem der Bohrer durch die Futterröhre herabgelassen wird, so kann er bei gewöhnlicher Einrichtung nur ein Bohrloch darstellen, dessen Weite sich dem innern Durchmesser der Röhre nähert. Der feste Thon unter der Röhrenwand wird also von ihm nicht angegriffen und verhindert leicht das tiefere Eindringen der Futterröhre. Der Bohrer muſs sich daher erweitern, sobald er aus der letzteren tritt. Dabei kann man ihm aber nicht mehr die Einrichtung geben, daſs er das gelöste Material noch in sich aufnimmt oder festhält, vielmehr muſs dieses später durch andere Apparate gehoben werden.

Eine hierher gehörige Vorrichtung, die Krebsschere genannt, zeigt Fig. 25 *a* und *b* in zwei Seitenansichten und *c* im horizontalen Querschnitte. Ihre beiden Schenkel sind nämlich von einander getrennt und wie die Schenkel eines Tastercirkels durch ein Charnier befestigt. Zwei Federn drücken sie auseinander, während durch Anbringung zweier Bolzen *F* dafür gesorgt ist, daſs sie nicht zu weit zurückschlagen, was bei der Form der Schneiden erfolgen müſste. Es ergiebt sich aus der Zeichnung, daſs beim Zurückziehn die Schenkel sich von selbst anlegen, und daſs ihre Schneiden die Röhren nicht berühren. Mittelst dieser Vorrichtung kann man Bohrlöcher darstellen, die um 2 bis 3 Zoll weiter sind, als der innere Durchmesser der Futterröhre.

Fig. 26 *a*, *b* und *c* zeigt eine andere Vorrichtung, die zu demselben Zwecke dient. Zwei sichelförmig gebogene Arme drehn sich horizontal um zwei Achsen, so daſs sie entweder eingeschlagen werden können (Fig. *b*) oder weit vorstehn (Fig. *c*). In der ersten Stellung werden sie durch die Futterröhre herabgelassen, und indem das Gestänge auf den Boden des Bohrloches fest aufgestellt wird, so drücken sich die Spitzen dieser Arme, die besonders tief herabreichen, in den Boden ein. Dreht man alsdann das Gestänge vorwärts, so öffnen sich die Arme, wie Fig. *c* zeigt, und beim Zurückdrehn schlieſsen sie sich wieder, so daſs man sie durch die engere Röhre hindurchziehn kann. Bei hölzernen Futterröhren von bedeutender Wandstärke thut dieses Instrument gute Dienste, es kann jedoch nur in dem Falle angewendet werden, wenn das Gestänge ein Rückwärtsdrehen erlaubt. Auſserdem tritt noch der Uebelstand ein, daſs nicht ein allmähliges Eingreifen der Arme erfolgt, wie bei der in Fig. 25 dargestellten Vorrichtung, sondern daſs die Arme plötzlich ausgespannt werden und alsdann einem starken Widerstande ausgesetzt sind.

Die sämmtlichen bisher erwähnten Bohrer finden in zäher Erde ihre Anwendung, zeigen sich aber in reinem Sande unbrauchbar, indem sie denselben nicht in sich aufnehmen. Der Bohrer Fig. 18 allein macht hiervon eine Ausnahme, doch hebt er auch nur in dem Falle den Sand, wenn derselbe nur feucht, aber nicht naſs ist. Gemeinhin ist das Bohrloch mit Wasser gefüllt, und sobald man den Bohrer herauszieht, so strömt das Wasser hindurch und spült dabei den Sand aus, so daſs der Bohrer ganz leer zum Vorschein kommt. Aus diesem Grunde muſs der Sand an einer Stelle im Bohrer aufgefangen werden, wo er vom durchströmenden Wasser nicht fortgespült werden kann. Dieses geschieht gewöhnlich mit dem sogenannten Löffel. Derselbe besteht aus einer cylindrischen Röhre, die am Boden durch ein Ventil geschlossen ist. Letzteres wird am vortheilhaftesten an einem eisernen abgedrehten Ringe angebracht, der in die Blechröhre gesteckt und mit Seitenschrauben daran befestigt ist. Bei dieser Anordnung läſst sich das Ventil leicht herausnehmen und falls es schadhaft werden sollte, durch ein anderes ersetzen. Dasselbe besteht gewöhnlich in einer einfachen Klappe (Fig. 27), zuweilen aber auch aus einem doppelten Ventile, bei dem jede Klappe einen Halbkreis umfaſst (Fig. 28). Häufig wird auch

zum Schliefsen der Oeffnung eine Kugel angewendet (Fig. 29), die so abgewogen ist, dafs ihr specifisches Gewicht ungefähr das Doppelte von dem des zu hebenden Sandes (und zwar mit Rücksicht auf die Beimischung von Wasser) beträgt. Damit aber die Kugel nicht zu weit heraufgehoben werden kann, wird sie durch einen Bügel in der Nähe des Ventils zurückgehalten.

Man gebraucht diese Instrumente in der Art, dafs man sie abwechselnd hebt und senkt, das im Bohrloche befindliche Wasser wird dadurch in starke Bewegung versetzt, die sich auch dem Sande mittheilt. Letzterer dringt mit dem Wasser beim Niederfallen der Röhre in dieselbe ein, aber sobald die Röhre wieder gehoben wird, kann er wegen des geschlossenen Ventils nicht entweichen. Beim nächsten Niederfallen tritt eine neue Quantität Sand hinzu und so füllt sich nach und nach die Röhre. Nach 20 bis 30 Stöfsen zieht man sie heraus und mit ihr den hineingedrungenen Sand. Eine besondere Vorrichtung zum Auflockern des Sandes ist nicht erforderlich, man kann vielmehr allein durch diese Röhre die Vertiefung des Bohrloches bewirken, damit man aber wirklich auf die Vertiefung hinwirkt und nicht etwa den Sand von den Seiten löst, so mufs man häufig die Futterröhre nachtreiben und dafür sorgen, dafs diese immer dem Bohrer vorangeht. Degousée führt an, dafs er mit solchem Apparate aus einer Tiefe von 300 Fufs täglich über 32 Cubikfufs flüssigen Sandes gehoben hat.

Zur Hervorbringung eines bessern Schlusses hat man der Röhre zuweilen zwei Ventile, nämlich eines oben und eines unten, gegeben, und sie sogar in eine vollständige Saugepumpe verwandelt. Das Bohrgestänge ist nämlich in diesem Falle mit der Kolbenstange verbunden und an letzterer befinden sich zwei Bundringe E, wie Fig. 30 zeigt, die gegen einen Steg F am obern Ende des Cylinders sich lehnen, sobald der Kolben den zulässigen höchsten oder niedrigsten Stand erreicht hat. Auch den gewöhnlichen Erdbohrer und zwar mit ganz geschlossenem Cylinder (Fig. 18) versieht man beim Gebrauche in flüssigem Sande zuweilen mit einer Klappe über der Oeffnung im Boden. Das Eintreten des Sandes wird dadurch freilich beim Drehen des Bohrers etwas erschwert, dagegen wird die darin aufgefangene Masse vollständiger gehoben.

Eine andere Vorrichtung zum Heben des reinen Sandes zeigt Fig. 31. Sie besteht in einem conischen Eimer, der unten mit einem

Schraubengange versehn ist, damit er beim Drehn von selbst in den Boden eindringt. Dieser Schraubengang ist zuweilen, wie hier dargestellt, mit keiner Spindel verbunden und wie ein Korkzieher geformt, zuweilen bringt man ihn auch am Umfange des Eimers an. Beim Drehen des Instrumentes veranlaſst die Schraube eine starke Auflockerung des Sandes, namentlich wenn das Bohrloch schon mit Wasser gefüllt ist, und hierdurch wird es möglich, den Eimer in seiner ganzen Höhe in den Sand zu versenken. Ist dieses geschehn, so stürzt der Sand von oben hinein und füllt den innern Raum. Um den Widerstand möglichst zu mäſsigen, den der Sand dem Eindringen des Eimers entgegensetzt, muſs man sich bemühen, durch abwechselndes Heben des Gestänges die Ablagerung noch mehr aufzulockern.

Zur Ausführung von Bohrlöchern in festem Gestein müssen Instrumente angewendet werden, welche denen der Steinmetze ähnlich, durch fortwährendes Aufstoſsen kleine Splitter lösen und dadurch nach und nach die beabsichtigten Oeffnungen darstellen. Die Bohrer bestehn in diesem Falle nur in Meiſseln, die mit Stahlschneiden versehn sind. Letztere dürfen aber nicht durch Ebenen begrenzt werden, die sehr spitze Winkel bilden, vielmehr müssen die beiden Flächen der eigentlichen Schneide sich unter Winkeln von 45 Graden treffen. Das Stumpfwerden der Schneiden erfolgt besonders schnell, wenn das angegriffene Gestein trocken ist, man muſs daher, sobald sich im Bohrloche nicht von selbst Wasser ansammelt, solches häufig zugieſsen. Die Enden der Schneiden an den Meiſseln sind vorzugsweise einer starken Abnutzung ausgesetzt, und dieses ist der Grund, weshalb bei Anwendung desselben Bohrers das Bohrloch in der Tiefe immer enger zu werden pflegt. Um dieses zu vermeiden, müssen die Meiſsel bei jeder Instandsetzung auf ihre ursprüngliche Breite wieder ausgeschmiedet werden. Damit das Bohrloch sich kreisförmig abrundet, pflegt man das Gestänge nach jedem Stoſse mittelst eines Hebels etwas zu drehen. Von dem Nutzen, den die Anwendung eines Wechselstückes oder eines Fallstückes in diesem Falle gewährt, ist bereits die Rede gewesen. Das auf diese Art gelöste Material kann durch die Steinbohrer selbst nicht gehoben werden, es sammelt sich daher als feiner Sand oder auch als dicker und zäher Schlamm im Bohrloche an, wodurch nach und nach die Wirkung des Bohrers verhindert wird. Zur Entfernung desselben

dienen die oben beschriebenen Instrumente und besonders die Löffel Fig. 27, 28 und 29.

Wenn der Bohrer nur eine einfache und zwar gerade Schneide hat, so nennt man ihn einen Meifselbohrer, ist die Schneide dagegen Sförmig gekrümmt, wie Fig. 35 Taf. III zeigt, wobei das Loch sich besser abrundet, so heifst er ein S-Bohrer. Beim Kreuzbohrer durchkreuzen sich zwei Schneiden, während beim Kronenbohrer eine grofse Anzahl von solchen radial gekehrt sind. Endlich wäre noch die sogenannte Büchse zu erwähnen, die durch eine kreisförmige Schneide gebildet wird und vorzugsweise zur nachträglichen Beseitigung der etwa vortretenden Unebenheiten dient.

Die Anfertigung und Unterhaltung der complicirteren Bohrer dieser Art bietet grofse Schwierigkeiten, da die verschiedenen mit einander verbundenen Schneiden sich nicht in einem Stücke schmieden, verstählen und schärfen lassen. Es bleibt daher nur übrig sie einzeln zu bearbeiten und alsdann an den Block zu befestigen, der am Gestänge hängt. Bei den übermäfsigen Erschütterungen ist aber keine Art der Verbindung hinreichend sicher, Schrauben, wie Splinte und Keile brechen oder lösen sich, und alsdann tritt die Gefahr ein, dafs die getrennten Theile in das Bohrloch herabfallen. Aus diesem Grunde wird dem einfachen Meifselbohrer wohl unbedingt vor allen andern der Vorzug gegeben, und bei sorgfältiger Arbeit kann man mit demselben und durch Nachhülfe mit dem S-Bohrer das Bohrloch auch ziemlich regelmäfsig darstellen. Wenn vielleicht einzelne Theile der Wand zu weit vortreten und die Weite beschränken, so lassen sich dieselben auch durch einen einfachen Meifselbohrer beseitigen, welcher der Weite des Bohrloches entsprechend gekrümmt ist und mittelst einer an der Rückseite angebrachten Feder an die Wand des Bohrloches gedrückt wird. Dasselbe Instrument wird auch mit Vortheil angewendet, wenn im aufgeschwemmten Boden ein einzelner Stein mit der, meist sehr glatten Seitenfläche in das Bohrloch tritt. Der frei herabfallende Bohrer wird nämlich von dem Steine in diesem Falle jedesmal abgesetzt, so dafs er ihn nicht angreift, während die Feder das Abspringen verhindert. Es mufs aber bemerkt werden, dafs ein abgerundeter Stein, der in der Richtung des Bohrloches liegt, leichter diametral durchbohrt werden kann, als eine nur wenig vortretende Seitenfläche desselben sich abstofsen läfst.

Bei den Bohrarbeiten brechen zuweilen die Gestänge oder die Bohrer, oder es stürzen durch Unvorsichtigkeit Theile des Apparats in das Bohrloch herab. Jedesmal müssen diese Gegenstände zuerst entfernt werden, bevor man die Arbeit fortsetzen kann. Hierzu dienen die Fange-Instrumente. Der Gebrauch derselben besteht in einem sehr unsichern und oft lange Zeit hindurch fortgesetzten Probiren, bevor es gelingt, den gesuchten Gegenstand sicher zu fassen und heraufzuziehn. Nicht selten muſs man sich auch begnügen, ihn seitwärts zu drängen oder zu zerschlagen, oder auch wohl soweit zusammenzudrücken, daſs er die Fortsetzung der Arbeit nicht weiter behindert. Jedenfalls muſs man die Tiefe, in welcher der zu beseitigende Gegenstand gefaſst werden kann, genau kennen. Sollte etwa das Gestänge brechen, so würde man aus der Länge des ausgehobenen Theiles sicher entnehmen können, in welcher Tiefe das abgebrochene Ende zu suchen ist.

Die Einrichtung der Fange-Instrumente hängt von der Gröſse und Gestalt der Gegenstände ab, die man damit ausheben will. Man pflegt deshalb sie auch nicht sogleich beim Beginne der Bohrarbeit anzuschaffen, vielmehr werden sie erst, sobald sie gebraucht werden sollen, in derjenigen Form und Stärke angefertigt, die dem jedesmaligen Zwecke am besten zu entsprechen scheint.

Wenn eine Schraubenmutter oder ein andrer sehr kleiner Gegenstand herabgefallen ist, so gelingt es wohl mittelst des gewöhnlichen Erdbohrers denselben zu fassen und zu heben. Liegen gröſsere Körper frei im Bohrloche, so versucht man sie durch untergeschobene Haken herauszuschaffen, oder sie mittelst mehrarmiger Zangen zu greifen, die mit Widerhaken versehn sind und fest aufgestoſsen werden. Vielfach werden auch glockenartige Instrumente angewendet, die beinahe über das ganze Bohrloch greifen. Zuweilen sind sie im Innern mit mehreren Armen versehn, die mit scharfen Stahlkanten sich dagegen lehnen. Es bedarf kaum der Erwähnung, daſs man beim Gebrauche dieser sämmtlichen Apparate niemals weiſs, ob der Versuch, den man soeben anstellt, geglückt ist, oder nicht. Nach mehrmaligem Drehen oder starkem Aufsetzen des Gestänges hebt man dasselbe aus, und erst wenn das letzte Glied mit dem Fange-Instrumente aus dem Bohrloche tritt, kann man sich überzeugen ob der Zweck erreicht ist, oder ob man die mühevolle und zeitraubende Probe aufs Neue wiederholen muſs.

Wenn das Gestänge selbst gebrochen ist und der herabgestürzte Theil, wie gewöhnlich geschieht, sich stark verbogen und festgeklemmt hat, so ist freilich das sichere Fassen desselben nicht leicht, aber man kann in diesem Falle aus dem Widerstande beim Anheben entnehmen, ob das Eingreifen erfolgt ist, oder nicht, so daſs also das wiederholte vergebliche Aufwinden und Zusammensetzen des Gestänges vermieden wird.

Hat das Gestänge in einer Verbindung zweier Glieder oder dicht darüber sich getrennt, so bemüht man sich mit spiralförmig gewundenen Haken den nächsten Bundring zu fassen, erhebt sich dagegen das abgerissene Ende des Gliedes weit über den Bundring, so muſs dieses gefaſst werden. Hierzu dient wieder jene Glocke mit den Stahlarmen, oder man verengt auch wohl die Glocke so sehr, daſs der Durchmesser der obern cylindrischen Höhlung in ihr kleiner als die Diagonale des Gestänges ist und versieht jene Höhlung wie eine Kluppe mit einem Schraubengewinde. Die Glocke, die in diesem Falle aus Stahl bestehn und gehärtet sein muſs, schneidet alsdann in das Ende der gefaſsten Stange ein Gewinde ein und zieht an diesem das Gestänge heraus. Taf. III Fig. 37.

Auch die Fig. 36 dargestellte Spirale, die aus hartem Stahl besteht und auf der innern Seite mit einer Schneide versehn ist, wie Fig. 36 *c* zeigt, ist in diesem Falle mehrfach mit Vortheil benutzt worden. Beim Drehn derselben wird durch die weit vortretende Spitze das Gestänge leicht gefaſst und in die Windung, die sich immer mehr verengt, hineingeschoben. Sobald aber bei wiederholten Versuchen zum Weiter-Drehen, die Schneide in eine Kante eingreift, so faſst sie zuweilen das Gestänge so sicher, daſs dieses gehoben werden kann.

Endlich ist noch zu erwähnen, daſs wenn die herabgestürzten Theile des Gestänges, oder Stücke von eisernen Futterröhren, oder sonstige Apparate sich im Bohrloche so fest geklemmt haben, daſs alle Fange-Instrumente sie weder fassen noch heben können, alsdann noch das Mittel bleibt, durch passend geformte groſse Feilen, die am besten eine birnförmige Gestalt haben, das Hinderniſs zu beseitigen.

§. 12.
Artesische Brunnen: die Futterröhren.

Der aufgeschwemmte Boden, besonders wenn er sandig und kiesig ist, stürzt beim Abbohren sehr bald nach, und dasselbe geschieht auch in einem Felsboden, der aus leicht abbröckelndem Gestein besteht. In beiden Fällen muſs man daher die Verschüttung des Bohrloches und das Einstürzen der Wände durch Einfassung der letztern verhindern. Dieses geschieht mittelst der Futterröhren oder Bohrröhren. Dieselben sind nur in festem Gesteine entbehrlich, auch in zähem Klaiboden wendet man sie zuweilen nicht an, doch muſs man in diesem Falle überzeugt sein, die gesuchten Quellen bald zu erreichen und die Steigröhren früher einsetzen zu können, ehe der Thon nachstürzt.

In demselben Maaſse, wie die Tiefe des Bohrloches zunimmt, muſs auch die Futterröhre herabgetrieben werden, so lange ihre Anwendung überhaupt nothwendig ist, sie muſs daher auch verlängert werden. Das Herabtreiben geschieht entweder mittelst einer Ramme oder durch todten Druck. In beiden Fällen wird die Röhre stark angegriffen, woher die möglichste Schonung derselben und die Beseitigung der Hindernisse, welche ihrem weiteren Eindringen entgegentreten, eine der wichtigsten Rücksichten ist, die beim Bohren der Artesischen Brunnen überhaupt zu nehmen sind. Der Widerstand, den der umgebende Boden ausübt, läſst sich einigermaſsen dadurch vermindern, daſs man die Erde nicht seitwärts drängt, wie dieses geschehn würde, wenn die Futterröhre die scharfe Schneide an der innern Seite hätte, man muſs im Gegentheil die Erde von den Seiten nach der Mitte des Bohrloches schieben, von wo man sie mittelst der Bohrer ausheben kann. Aus diesem Grunde erhält das untere Ende oder der Schuh der Futterröhre eine nach auſsen vortretende Schneide, die zuweilen noch einen halben Zoll vor die äuſsere Wandfläche tritt. Nichts desto weniger wird das Herabtreiben der Futterröhre mit der zunehmenden Länge immer schwieriger und zuletzt entweder unmöglich, oder es ist mit Gefahr für die Röhre verbunden. Wenn unter diesen Umständen die Einfassung des Bohrloches auch weiterhin noch nothwendig ist, so muſs man eine neue Futterröhre einschieben, die gleich anfangs die ganze

Länge der ersten, jedoch eine geringere Weite hat. Diese erleidet in dem Theile, wo sie von der ersten umgeben wird, keine merkliche Reibung und läſst sich daher bei gleicher Beschaffenheit des Bodens während des fortgesetzten Bohrens fast bis zur doppelten Tiefe herabtreiben. Man ist zuweilen gezwungen, bis fünf derselben in einander zu schieben. Hieraus ergiebt sich, daſs man Anfangs passende Dimensionen für die Futterröhre wählen und in zweifelhaften Fällen solche lieber zu groſs als zu klein annehmen muſs, damit die letzten nicht zu enge ausfallen.

Hölzerne Röhren wurden früher in vielen Fällen zur Einfassung des Bohrloches benutzt. Es fehlt solchen keineswegs an Festigkeit, dagegen bedürfen sie einer groſsen Wandstärke, woher einerseits das Bohrloch bedeutend erweitert werden muſs und andererseits das Einschieben einer zweiten ähnlichen Röhre in die erste nicht möglich ist. Hiernach beschränkt sich die Anwendung der hölzernen cylindrischen Futterröhren nur auf solche Fälle, wo man in geringer Tiefe die gesuchten Quellen zu finden hofft. Dagegen macht man vielfach von hölzernen, und zwar sehr weiten Röhren beim Brunnenbohren einen andern Gebrauch. Dieselben besitzen nämlich bei hinreichender Wandstärke nicht nur eine groſse Steifigkeit, sondern sie lassen sich auch leicht und sicher mit den Rüstungen verbinden und in andrer Weise solide befestigen. Sie sind daher sehr geeignet, eiserne Futterröhren die nahe schlieſsend in sie eingesetzt werden, sicher zu führen, und denselben eine lothrechte Stellung zu geben. Haben sie diesen Zweck, so bedürfen sie nur der mäſsigen Länge von 8 bis 10 Fuſs. Man nennt sie alsdann Bohrtäucher.

Zum Eintreiben der hölzernen Futterröhren bedient man sich der gewöhnlichen Rammen, doch muſs man, um den Beschädigungen durch das unmittelbare Aufschlagen des Klotzes zu begegnen, einen Knecht oder Aufsetzer anwenden, der mit einem Zapfen in die Röhre greift und dessen Kopf durch einen starken eisernen Ring vor dem Spalten gesichert ist. Wenn die Röhren zugleich als Steigeröhren für das Quellwasser dienen sollen, was gemeinhin geschieht, so ist es nöthig, sie in den Stöſsen, wo sie zapfenartig in einander greifen, wasserdicht zu schlieſsen. Zu diesem Zwecke bringt man daselbst Ringe von getheerter Leinwand an, doch darf man nicht hoffen, hierdurch das Durchflieſsen zu hindern, wenn von einer oder der

andern Seite der Druck viel stärker ist. Ist dieses der Fall, so müssen noch metallene Steigeröhren eingesetzt werden.

Eine andere Art, die Bohrlöcher einzufassen, besteht in der Anwendung hölzerner Kasten. Dieselben haben einen quadratischen Querschnitt und eine Wandstärke von mindestens 1¼ Zoll. Garnier hat sie besonders empfohlen und die Art ihrer Zusammensetzung ausführlich beschrieben. Wenn ihre Verlängerung auch den Vortheil bietet, dafs die Stöfse nicht ringsumher zusammenfallen, so besitzen sie doch nicht entfernt die Festigkeit der eisernen Röhren, woher sie gegenwärtig nicht mehr Anwendung finden.

Gufseiserne Futterröhren, die zugleich Steigeröhren für das Quellwasser bilden, waren besonders in England üblich. Ihre regelmäfsige und unveränderliche Form, ihre Steifigkeit, auch ihr grofses Gewicht bei geringer Wandstärke sind sehr empfehlenswerthe Eigenschaften, und es kommt noch dazu, dafs sie in reinem Boden einen mäfsigen Schlag des Rammklotzes sicher ertragen. Eine Hauptbedingung ihrer Anwendung ist aber ein möglichst genauer Gufs, und dieses namentlich in dem Falle, wenn sie mit Zapfen, die um die halbe Wandstärke gegen die äufsere Fläche zurücktreten, ineinander greifen. Man giebt ihnen bei 9 Fufs Länge und 6 Zoll Durchmesser nur eine Wandstärke von 4 Linien, und an den Enden, wo eine Röhre die andere umfafst, sogar nur von 2 Linien. In dem aus England bezogenen Apparate, dessen man sich bei einem Bohrversuche in Bremerhaven bedient hatte, wobei jedoch wegen eines Bruches dieser Röhren die Arbeit eingestellt werden mufste, war jedes Ende der Röhre mit einem 2 Zoll hohen Zapfen versehn, dessen Wandstärke gleich der halben Wandstärke des übrigen Theiles der Röhre maafs, und zur Verbindung beider dienten abgedrehte Ringe von Schmiedeeisen, die wieder 2 Linien Stärke und etwas über 4 Zoll Höhe hatten. Letztere verhinderten die unmittelbare Berührung beider Röhren und umschlossen und verstärkten zugleich die Enden derselben. Um die Schwächung der Röhren in den Stöfsen zu vermeiden, versieht man zuweilen auch jede derselben an dem obern Ende mit einem erweiterten Halse, in den die folgende Röhre gestellt und wie bei Wasserleitungen gedichtet wird. Obwohl man hierdurch eine wesentliche Verstärkung einführt, so wird doch das tiefere Eindringen der Röhre erschwert.

Das Eintreiben der gufseisernen Röhren geschieht entweder unter

der gewöhnlichen Ramme, oder man stellt auch einen leichten Rammapparat auf die Röhre. Der hölzerne Aufsetzer oder Knecht trägt nämlich in der Achse der Röhre eine eiserne Stange, die als Läuferruthe zur Führung des Klotzes dient. Letzterer wiegt 2 bis 3 Centner, und besteht aus Gufseisen. Er ist der Länge nach durchlocht, umfafst die erwähnte Stange und wird mittelst eines Rammtaues gehoben, welches über eine darüber befindliche Rolle geführt ist.

Endlich sind noch die Futterröhren aus Eisenblech zu erwähnen. Sie werden in neuerer Zeit beinahe ausschliefslich angewendet. In Bezug auf Steifigkeit stehn sie den gufseisernen und selbst den hölzernen ausgebohrten Röhren nach, dagegen fehlt ihnen die Sprödigkeit der ersteren und vor beiden haben sie den Vorzug der geringeren Wanddicke, auch lassen sich ihre Theile sehr sicher unter einander verbinden. Den Schlägen des Rammklotzes widerstehn sie nicht, werden vielmehr durch dieselben leicht verbogen, dagegen erleichtert ihre glatte Aufsenfläche das tiefere Eindringen unter mäfsigem Drucke. Dazu kommt noch, dafs die Anzahl der in einander geschobenen Röhrenfahrten eben wegen der geringen Wanddicke gröfser sein kann, als bei andern gleich weiten Röhren. Sobald sie aber durch ihr eignes Gewicht nicht mehr von selbst herabsinken, werden sie durch aufgelegte Gewichte, oder in andrer Weise herabgedrückt. Am vortheilhaftesten geschieht dieses durch Schrauben, doch mufs man für dieselben sichere Stützpunkte bilden. Wie solches geschehn kann, wird im Folgenden mitgetheilt werden. Vielfach hat man auch versucht, durch lange, mit kreisförmigen Einschnitten versehene Hebel, die an die Röhre geschroben werden, letztere zu drehen und dadurch herabzutreiben. Obwohl diese Versuche zuweilen geglückt sind, so wurden dadurch doch in andern Fällen, die Röhren zerrissen oder so stark gewunden, dafs man sie ausziehn und durch neue ersetzen mufste.

Die Bleche, die man zu diesen Röhren anwendet, haben die Stärke von etwa $\frac{1}{8}$ Zoll. Degousée gab den engsten Röhren, die er benutzte, bei $7\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser, eine Blechstärke von 0,92 Linien und den weitesten Röhren, von $12\frac{3}{4}$ Zoll Durchmesser, die Blechstärke von 2,29 Linien. Die Länge der einzelnen Röhrenstücke richtet sich nach der Breite der Bleche und beschränkte sich früher gemeinhin auf 4 Fufs, doch kann man gegenwärtig leicht gröfsere Längen darstellen. Die Bleche werden gewöhnlich mit übergreifenden Rändern

in der vorgeschriebenen Weite cylindrisch gebogen und verniethet. Ihre Zusammensetzung zum ganzen Röhrensatze erfolgt entweder mittelst 8 Zoll hoher, von aufsen aufgeschobener Ringe, die ebenso wie die Röhren zusammengesetzt sind. Auf der Hütte selbst, wo die Anfertigung geschieht, wird alsdann ein Verbindungsring an jedes Röhrenstück geniethet. Andernfalls giebt man jedem Stücke eine flachconische Gestalt, so dafs jede Verlängerung in den bereits eingestellten Röhrenstrang geschoben werden kann. Es bedarf kaum der Erwähnung, dafs die Näthe der beiden zu verbindenden Stücke nicht zusammenfallen dürfen, weil sonst vier Blechstärken übereinander liegen würden. Auf das genaue Zusammentreffen der Niethlöcher ist aber besonders zu achten.

Die Niethe, welche versenkte Köpfe erhalten, werden von innen eingesetzt und von aufsen mit flachen Köpfen versehn. Ist das Röhrenstück hinreichend weit und nicht lang, so kann man dabei von innen einen Hammer dagegen halten, der die Schläge aufnimmt. Ist dieses nicht thunlich, so bedient man sich hierbei eines gufseiseruen Blockes, der auf der einen Seite sich der Röhrenfläche anschliefst, auf der andern dagegen durch eine starke Feder angedrückt wird. Man benutzt auch zwei schräge abgeschnittene Cylinder-Segmente, die durch einen passenden Keil fest gespannt werden. In diesem Falle mufs jedes der drei Stücke mit einem hinreichend langen Stiele versehn sein.

Eine andre Verbindungsart der Röhren aus Eisenblech beruht darauf, dafs man die Verbindungsringe anlöthet, was besonders in Bezug auf die Wasserdichtigkeit vortheilhaft ist. Aufserdem kann bei diesem Verfahren noch ein wesentlicher Zweck erreicht werden. Die Verbindungsringe vergröfsern nämlich den äufsern Durchmesser der Futterröhre, und diese Ungleichmäfsigkeit erschwert das Eindringen, wenn man aber die Verbindungsringe so lang macht, dafs sie sich unmittelbar berühren, oder eine vollständige äufsere Röhre bilden, so verschwindet nicht nur der erwähnte Nachtheil, sondern die Röhre wird bei gleicher Wandstärke auch fester, oder man darf zur Hervorbringung des nöthigen Grades von Festigkeit schwächere Bleche anwenden. Zu einem Röhrensatze werden in diesem Falle innere und äufsere Röhren von gleicher Länge angefertigt, von denen die letzteren sich mit Leichtigkeit und mit reichlichem Spielraume über die ersteren schieben lassen. Sie werden so gestellt, dafs jede innere

Röhre mit der halben Länge vor der äufsern vorsteht. Soll die Verlängerung vorgenommen werden, so schiebt man zuerst ein äufseres Stück auf, so dafs es auf dem darunter befindlichen fest aufsteht, alsdann stellt man ebenso ein inneres ein. Man schiebt hierauf eine Art von Kolben unter die Fuge der inneren Röhrenstücke, stampft darüber Lehm, um das Ausfliefsen des Lothes zu verhindern und dichtet gleichfalls durch umgeschlagenen Lehm die Fuge zwischen den äufsern Röhren. Ein aus zwei Hälften bestehender Kohlenkorb wird darauf um die Röhre befestigt und darin das Feuer so lange unterhalten, bis die Röhren für die Löthung hinreichend erwärmt sind. Endlich giefst man von oben das Loth ein, wodurch sich der zuletzt aufgebrachte äufsere Cylinder mit den beiden innern verbindet. Hierbei ist es erforderlich, die zusammenzulöthenden Flächen vorher zu verzinnen. Sollte das Loth in die Röhre hineinfliefsen und dadurch die innere Weite etwas verengen, so ist dasselbe mit einem Apparate, ähnlich dem Fig. 24 dargestellten, leicht auszuschneiden oder auszubohren, man kann zu diesem Zwecke auch grofse halbrunde Feilen an das Gestänge befestigen, die mittelst Federn angedrückt werden. Diese Art der Verbindung, welche bei Artern angewendet wurde, hat noch den Vortheil, dafs man den Röhrensatz, sobald es nöthig wird, sicher herausziehn und durch Erwärmung in seine einzelne Theile wieder zerlegen kann. Die Kosten für solche doppelte, zusammengelöthete Röhren stellen sich freilich etwas höher, als für einfache. Dieser Umstand ist indessen bei grofsen Bohrarbeiten von geringer Bedeutung, indem der Betrag der Arbeitslöhne jederzeit viel gröfser ausfällt, als der des angeschafften Materials, und sonach jede Verbesserung, wodurch Zufälligkeiten vermieden werden, sehr zu empfehlen ist. Die in dieser Art zusammengesetzte Röhre für das Bohrloch zu Artern hatte in den einzelnen Theilen eine Wandstärke von $\frac{1}{12}$ Zoll, ihre lichte Weite konnte nur $2\frac{1}{8}$ Zoll betragen, und der lichte Zwischenraum zwischen der innern und äufsern Röhre, der mit Zinn ausgegossen wurde, maafs $\frac{1}{16}$ Zoll.

Wenn mehrere Röhren in einem Bohrloche in einander geschoben sind, während die wasserdichte Absperrung des Grundwassers und der sonst etwa zwischenliegenden Quellen nicht nöthig ist, so ist es überflüssig, dafs die sämmtlichen Röhren im Bohrloche bleiben, und es genügt, nur eine darin zu belassen. Man kann jedoch die äufsere nicht zuerst entfernen, und daher pflegt man unter den er-

wähnten Umständen jede von den innern Röhren etwas über dem untern Ende der nächstfolgenden äufsern abzuschneiden. Dieses geschieht, indem man am Gestänge einen scharfen und gehörig gehärteten stählernen Zahn befestigt, der durch eine Feder an die Röhrenwand gedrückt wird. Durch Vorwärtsdrehn bringt man ihn zum Einschneiden, während er bei der Bewegung auf- und abwärts die Röhren beinahe gar nicht angreift. Auf solche Art schneidet man zunächst die innere Röhre an der Stelle durch, wo das Bohrloch eine doppelte Ausfütterung hat. Das Ausheben des abgeschnittenen freistehenden Stückes bietet alsdann keine Schwierigkeit und demnächst geht man zur folgenden Röhre über, und so fort, bis zuletzt das ganze Bohrloch überall nur von einer einfachen Röhre umschlossen bleibt.

Zur Vollendung eines Artesischen Brunnens gehört endlich noch die Steigeröhre, oder diejenige Röhre, durch welche der aufgeschlossene Quell zur Erdoberfläche heraufsteigt. Die Steigeröhren sind, nachdem sie eingebracht, keinen gewaltsamen Beschädigungen wie die Futterröhren ausgesetzt, dagegen mufs man bei ihnen in der Wahl des Materials besonders vorsichtig sein, damit sie nicht durch das fortdauernd durchfliefsende Wasser chemisch angegriffen werden, und überdies müssen sie auch wasserdicht sein, damit sie weder einen Theil des aufgenommenen Quellwassers ausfliefsen, noch auch dasselbe mit anderm minder reinem Wasser sich vermischen lassen. Was die erste Rücksicht betrifft, so erscheint die Anwendung des Eisens und namentlich die des Schmiedeeisens bedenklich. Degousée führt an, dafs solche Röhren nach vier bis fünf Jahren an einzelnen Stellen vom Roste zerfressen waren und das Wasser entweichen liefsen. Eine Verzinnung auf der innern Seite kann diesem Uebelstande kaum begegnen, da neben den Niethen und in den Stöfsen sich unbedeckte Stellen finden. Wenn dieselbe Röhre aber schon beim Bohren als Futterröhre gedient hat, so mufs man sich darauf gefafst machen, dafs ein grofser Theil des Zinnüberzuges bereits zerstört ist.

Dauerhafter sind die gufseisernen Steigeröhren. Man dreht sie an den Enden sorgfältig ab, so dafs sie scharf schliefsen und versieht jeden Stofs mit vier Schraubenlöchern. Wenn sie aufgestellt werden sollen, bringt man in den Verbindungen, sowol auf der innern, als auf der äufsern abgedrehten Fläche, einen fetten Ueberzug

an, schiebt und dreht sie alsdann sorgfältig aufeinander und schraubt die Bolzen ein, doch müssen letztere weder von innen, noch von aufsen vorstehn. In schwefelhaltigem Wasser sind Zinkröhren besonders zu empfehlen. Von häufiger Anwendung und sehr dauerhaft sind auch dünne Kupferröhren, die von innen verzinnt und mit Hartloth in den vertikalen Fugen verbunden sind. Die einzelnen Röhrenstücke werden mittelst übergeschobener Ringe über einander gestellt, worauf man mit dem schon oben erwähnten Feuerkorbe die Röhre erwärmt und geschmolzenes Zinn dazwischen giefst. Die Blechstärke des Kupfers braucht nur 1 bis höchstens 2 Linien zu betragen. Diese Röhren haben den grofsen Vorzug, dafs sie etwas biegsam sind und sich daher selbst in unregelmäfsige Bohrlöcher ohne Beschädigung einbringen lassen. Die Kosten für solche Röhren sind freilich nicht unbedeutend, wenn man aber bei einer schwierigen Anlage dieser Art ein günstiges Resultat am Ende erreicht hat, so ist es gewifs keine Verschwendung, dieses für eine lange Reihe von Jahren zu sichern.

Häufig wendet man zu den Steigeröhren auch hölzerne Röhren an, dieselben müssen aber aus einer Holzart bestehn, die weder den Geschmack des Wassers verdirbt, wie z. B. Eichenholz, noch auch darf sie besonders vergänglich sein. Gewöhnlich wählt man Kiefern- oder Ellernholz, und die Röhren, die etwa 8 Fufs lang sind, erhalten einen äufsern Durchmesser von 7 Zoll und eine lichte Weite von 3 Zoll. Die Zusammensetzung der einzelnen Stücke geschieht am vortheilhaftesten in der Art, dafs sie mit Zapfen von der halben Wandstärke in einander greifen, und ein übergeschobener eiserner Ring von etwa 3 Zoll Höhe die Fuge überdeckt und zugleich das Spalten der Röhre verhindert.

Beim Einbringen der Steigeröhren mufs man besondere Vorsicht anwenden, da dieselbe dauernd im Gebrauche bleiben und daher vor jeder Beschädigung gesichert sein müssen. Nach ihrer Aufstellung dürfen die Futterröhren unbedenklich entfernt werden, was jedoch häufig nicht gelingt, es empfiehlt sich indessen den Raum rings um die Steigeröhre durch eingeschütteten zähen Thon oder durch hydraulischen Mörtel möglichst zu dichten.

§. 13.
Ausführung der Artesischen Brunnen.

Um die Anwendung der vorstehend erwähnten Apparate und zugleich die Methode darzustellen, wie Artesische Brunnen ausgeführt werden, empfiehlt es sich, das ganze Verfahren nach der Reihenfolge der einzelnen dabei vorkommenden Arbeiten zu beschreiben. Es ist jedoch hier nur der einfachste und gewöhnlichste Fall zu berücksichtigen, nämlich daſs nicht im Felsen, auch nicht in sehr groſser Tiefe gebohrt wird, sondern nur in Diluvial- oder tertiären Formationen, wobei man kein festes Gestein antrifft, aber doch vielleicht erratische Blöcke durchstoſsen oder seitwärts geschoben werden müssen. Andern Falls pflegt die Leitung der Arbeit nicht mehr dem Baumeister, sondern dem Bergmanne oder einem in Ausführungen dieser Art geübten andern Techniker übertragen zu werden.

Wenn bei solchen schwierigeren Unternehmungen die Methoden, wie die Apparate sehr verschieden sind, und sogar jedesmal neue Erfindungen gemacht werden, so findet in geringerem Grade dasselbe auch schon im vorliegenden Falle statt, wie sich aus der Vergleichung der darüber veröffentlichten Beschreibungen ergiebt. Nachstehend sind diejenigen Methoden bezeichnet, welche die zweckmäſsigsten zu sein schienen und ich verdanke dieselben zum Theil der sehr gefälligen Mittheilung eines in Ausführung solcher Arbeiten sehr geübten Technikers, des Herrn Obersteiger Wagner in Rüdersdorf bei Berlin.

Zunächst kommt es darauf an, die passendste Stelle für das Bohrloch zu ermitteln. Dieselbe ist nicht leicht durch die Situation von Gebäuden oder industriellen Etablissements in der Nachbarschaft ganz bestimmt gegeben, vielmehr bleibt innerhalb gewisser Grenzen die Wahl jederzeit frei. An der Beschaffenheit des Bodens und der Vegetation kann man zwar auf das Vorhandensein von Quellen in geringer Tiefe schlieſsen, wenn diese aber durch Erdschichten von 100 Fuſs Mächtigkeit überdeckt sind, so verschwindet jede Spur derselben. Die Wahrscheinlichkeit, Quellen zu eröffnen, ist daher in weiter Umgebung gleich groſs, und nur äuſsere Umstände können die Wahl leiten. Hieher gehört zunächst die Höhenlage des Bodens. Bei unebenem Terrain wird man das Bohrloch nicht auf

Hügeln ausführen, weil man bis zu der voraussichtlich nahe horizontalen Lage der wasserführenden Schicht alsdann um so tiefer herabgehn muſs. Andrerseits aber wird man auch solches Terrain vermeiden, welches sich nur wenig über das Grundwasser erhebt, weil die Arbeit sich wesentlich erleichtert, wenn man einen wasserfreien Schacht wenigstens 8 Fuſs unter den Erdboden herabführen kann. Auſserdem muſs man auch auf die Zugänglichkeit des Punktes Rücksicht nehmen, und denselben so wählen, dass man die erforderlichen Apparate bequem anfahren kann. Besonders wichtig ist dieser Umstand, wenn man, wie gewöhnlich geschieht, einen Bohrthurm errichtet, und das dazu erforderliche Bauholz gleichfalls beigeschafft werden muſs. Endlich ist aber noch die Nähe von Ortschaften zu beachten, wo die Arbeiter ein Unterkommen finden.

Wenn man hoffen darf, die Arbeit in sehr kurzer Zeit zu beendigen auch voraussichtlich nicht bis zu einer groſsen Tiefe herabgegangen werden darf, so läſst sich der Bohrthurm zwar entbehren, und dafür eine leichte Rüstung, bestehend aus einem dreibeinigen Bocke benutzen, woran das Gestänge gehoben und herabgelassen wird. Da jedoch in diesem Falle keine sonstigen Hülfsmittel, als der Flaschenzug und eine einfache Winde angewandt werden können, und auſserdem bei ungünstiger Witterung die Arbeit sehr erschwert, vielleicht sogar unmöglich wird, wie auch die Fortsetzung derselben während der Nacht sich verbietet, weil die nöthige Beleuchtung sich nicht darstellen läſst, so empfiehlt es sich immer, einen leichten Bohrthurm zu errichten, der vielleicht zu gleichem Zwecke später noch anderweit benutzt werden kann. Fig. 39 auf Taf. III zeigt den Bohrthurm mit den darin befindlichen Apparaten Derselbe besteht zunächst aus dem eigentlichen Thurme, der so hoch sein muſs, daſs darin auf etwa 30 Fuſs Länge das Gestänge ausgehoben werden kann, also die einzelnen Glieder des Gestänges diese Länge erhalten dürfen. Das Zerlegen und Zusammenfügen derselben nimmt bei dem in kurzen Zwischenzeiten nöthigen Ausheben und Herablassen der Bohrer und sonstigen Apparate einen groſsen Theil der Zeit in Anspruch und dieser wird um so gröſser, in je mehr Theile das Gestänge zerlegt werden muſs, oder je kürzer die einzelnen Glieder sind. Auſserdem befindet sich in dem Thurme das Spillrad, das etwa 15 Fuſs im Durchmesser hält und das entweder an den Sprossen, oder dadurch gedreht wird, daſs die Arbeiter auf die

letzteren steigen und das Rad als Laufrad benutzen. Um die Welle dieses Rades windet sich das Tau, das unter dem Dache des Thurmes über eine Rolle läuft, und das Gestänge trägt.

Endlich befindet sich in dem Bohrthurme noch die Vorrichtung, mittelst deren die Steinbohrer stoſsweise auf und nieder bewegt werden. Dieses ist der Schwengel, an den man das Gestänge hängt, sobald man auf festes Gestein, oder auf einen Granitblock trifft. Ereignet sich dieses in der Nähe der Oberfläche, also in der Zeit, wo das Gestänge noch nicht schwer ist, so läſst die stoſsweise Bewegung sich leicht durch einen Handschwengel, der dem gewöhnlichen Pumpenschwengel ähnlich ist, ausführen. In der Tiefe von 50 Fuſs oder darüber ist dagegen die vereinigte Kraft einer gröſseren Anzahl von Arbeitern nothwendig, und auſserdem muſs man auch dafür sorgen, daſs der Bohrer bei jedem Schlage scharf aufstöſst und unmittelbar darauf sich wieder abhebt. Der Schwengel besteht alsdann in einem 30 bis 40 Fuſs langen hochkantigen Halbholze oder auch wohl in einem Balken, der einen ungleicharmigen Hebel bildet. Die Längen der beiden Arme verhalten sich zu einander gewöhnlich wie 5 : 1 oder 6 : 1 und bei sehr langen Gestängen sogar wie 9 : 1. Häufig sind die Schienen an beiden Seiten des Schwengels, die unmittelbar auf der Achse liegen, mit mehreren Einschnitten versehn und ebenso auch diejenigen in dem Schwengelbocke, so daſs man bei Verlegung der eisernen Achse beliebig das Längenverhältniſs der Arme ändern kann, ohne daſs dabei der Kopf des Schwengels sich von der Mittellinie des Bohrloches entfernt. An diesem Kopfe, oder dem Ende des kürzeren Armes, hängt das Gestänge, am Ende des längeren befinden sich dagegen durchgesteckte Stangen, welche von den Arbeitern entweder unmittelbar oder mittelst Zugleinen niedergedrückt werden. Nachdem Letzteres geschehn ist, fällt das Gestänge, das stets ein bedeutendes Uebergewicht behalten muſs, von selbst herab, oder es löst sich dabei auch wohl das bereits beschriebene Fallstück. Damit der Meiſsel aber nicht auf dem Gestein stehn bleibt, sondern augenblicklich zurückspringt, so wird über dem langen Hebelsarme noch ein elastisches starkes Holz, der Prellbalken, angebracht, der während der letzten Zeit der Bewegung aufwärts gestoſsen wird, und unmittelbar darauf wieder zurückweicht, wobei er das Gestänge etwas anhebt.

Es muſs erwähnt werden, daſs man von dieser einfachsten Einrichtung vielfach abgewichen ist, namentlich um den Verlust an lebendiger Kraft zu vermindern, den die entgegengesetzten Bewegungen des schweren Schwengels veranlassen. Zu diesem Zwecke hängt man zuweilen an den langen Arm desselben einen Kasten mit Gewichten, der beim Herabsinken in Wasser taucht und alsdann die Hebung erleichtert. Andrerseits läſst man den Schwengel nicht um eine feste Achse drehen, sondern auf zwei starken Bogen wiegenförmig rollen, wobei das Verhältniſs der beiden Arme sich fortwährend ändert und das Niederdrücken des langen Armes, wegen der Verlängerung desselben, Anfangs erleichtert wird. Diese und ähnliche Vorkehrungen finden indessen nur bei schweren Gestängen, also bei tiefen Bohrungen Anwendung, von denen hier nicht die Rede ist.

An der Stelle, wo das Bohrloch ausgeführt werden soll, teuft man einen kleinen Schacht ab, um sowol in der gröſseren Tiefe den Bohrtäucher sicherer befestigen zu können, als auch um die nöthigen Stützpunkte zum Niederdrücken der Bohrröhren zu gewinnen. Dieser Schacht muſs wenigstens 8 Fuſs tief sein und dasselbe Maaſs in der Weite haben, weil sonst der Raum für die darin auszuführenden Arbeiten zu beschränkt wäre. Fig. 40, *a* und *b* zeigt den Schacht im vertikalen Durchschnitt und im Grundrisse. Ein vierseitiger Rahmen, oder das sogenannte Joch *A*, aus schwachen Bauhölzern gebildet, die in den Enden überblattet sind, wird in den gehörig geebneten Boden versenkt, und während man darin die Grube aushebt, werden gleichzeitig, rings umher zugeschärfte Brettstücken *C*, Pfähle genannt, eingetrieben, die das Nachstürzen der Wände verhindern. Sobald der Schacht etwa 3 Fuſs tief ist, bringt man das zweite Joch ein, und stützt gegen dieses das obere Joch durch senkrechte Stiele *B*, Bolzen genannt. Alsdann treibt man eine neue Reihe Pfähle ein. Damit diese sich aber nicht flach gegen die ersten anlehnen und dadurch theils nicht so leicht mit dem hölzernen Schlägel, der hier die Stelle der Ramme vertritt, getroffen werden können, theils aber auch gegen die ersten Pfähle eine starke Reibung entstehn würde, so bringt man zwischen beide noch Keile ein, die sogenannte Pfändung.

In dieser Weise setzt man das Abteufen des Schachtes fort, bis

die beabsichtigte Tiefe erreicht ist. Indem diese nicht groſs ist, so lassen sich auch leicht durch unmittelbares Aufgraben zur Seite zwei starke Balken *D* einbringen, die als Widerlager für die Schrauben-Vorrichtung dienen, und unter denen noch zwei andere kürzere Balken *E* liegen. Um das Heben der ersten Balken zu verhindern, überdeckt man die Enden derselben mit Bohlen und die darauf gebrachte Erde wird fest angestampft.

Zwischen die vier Balken *D* und *E* wird der Täucher eingestellt und in den Grund getrieben. Es ist von groſser Wichtigkeit, denselben möglichst fest und lothrecht einzusetzen, weil hiervon vorzugsweise das regelmäſsige Eindringen der Röhren und sonach das Gelingen des ganzen Brunnens abhängt.

Der Täucher besteht aus einer starken hölzernen Röhre, gewöhnlich von 6 bis 8 Fuſs Länge, die mit ihrer untern Hälfte in den Boden getrieben, und gegen die umgebenden Hölzer fest verkeilt wird. Ihr lichter Durchmesser wird so gewählt, daſs die erste Bohrröhre sich so eben hindurchschieben läſst, und darin eine sichere Führung findet. Der Täucher wird entweder, wie die Figur angiebt, aus Faſsdauben von 2¼ Zoll Stärke, oder noch besser nur aus zwei starken Holzstücken zusammengesetzt, die bei hinreichender Wanddicke die cylindrische Oeffnung von der erforderlichen Weite darstellen.

Was das Bohren selbst betrifft, so geschieht dieses in der §. 12 beschriebenen Bohrröhre aus Eisenblech. Man stellt, nachdem die erwähnten Einrichtungen getroffen sind, diese Röhre in den Täucher ein. Der Erdbohrer ist an ein Glied des Gestänges von passender Länge geschroben und dieses hängt an dem Tau oder dem Bande, welches durch das Spillrad angezogen und nachgelassen werden kann. Indem ein einfaches Tau beim Auf- und Abwinden sich zu drehen pflegt, so ist es vortheilhafter, mehrere derselben zu einem flachen Bandseile zusammenzunähen. Das Ende des letzteren ist an die cylindrische Welle des Spillrades befestigt und von hier aufwärts nach einer Scheibe mit entsprechender Rille geführt, die in der verlängerten Achse des Bohrloches möglichst hoch, also nahe unter dem Dache des Bohrthurmes angebracht ist. Das von dieser herabführende Ende des Seiles ist mittelst des Fig. 33 dargestellten Kopfstückes, mit dem Gestänge verbunden.

Sobald der Bohrer sich mit der Erde gefüllt hat, wird er heraus-

gezogen und entleert. Beim Herausziehn stürzen indessen bei leichtem und quelligem Boden die Wände des so eben unter der Bohrröhre dargestellten Loches zusammen, und das hineingefallene Material müfste man immer von Neuem ausheben. Hierdurch würde nicht nur die Arbeit unnöthiger Weise ausgedehnt, sondern es wäre auch zu besorgen, dafs unter der Röhre die seitwärts befindliche Erde in das Bohrloch fiele, und dadurch Höhlungen entständen, die plötzliche Erdstürze veranlassen könnten. Letztere sind aber besonders in sofern gefährlich, als die Röhre dabei leicht eingedrückt wird. Es ist sonach nothwendig, dafs unmittelbar nach der weitern Vertiefung des Bohrloches die Röhre der Sohle desselben jedesmal folgt.

Die Röhre wird durch den Seitendruck der Erde so sehr zurückgehalten, dafs sie durch ihr eigenes Gewicht nicht herabzusinken pflegt. Man schraubt daher zuweilen eiserne Ringe mit Seitenarmen nahe unter das obere Ende der Röhre, bildet darüber eine einfache Rüstung und beschwert diese mit aufgelegten Steinen, oder in anderer Weise. Hierdurch läfst sich allerdings das Gewicht vergröfsern, doch genügt auch dieses vielfach nicht, um die Röhre gleichmäfsig zu senken, auch tritt dabei häufig der Uebelstand ein, dafs die Röhre längere Zeit hindurch dem Bohrer nicht folgt, und alsdann plötzlich mit starker Erschütterung herabsinkt. Andrerseits hat man nicht selten versucht, die Röhre durch Drehen herabzutreiben, doch ist dieses Verfahren, wie bereits erwähnt, sehr bedenklich.

Die in Fig. 40 dargestellte Vorrichtung, wodurch die Röhre mittelst zweier starken Schrauben senkrecht herabgedrückt wird, empfiehlt sich sowol wegen ihrer Wirksamkeit, als auch dadurch, dafs die Röhre dabei nicht zu leiden pflegt. Die Schrauben greifen mit ihren untern Enden durch die Balken *E*, und werden hier durch Splinte gehalten, während die Balken *E* sich gegen die Widerlagsbalken *D* stützen. Die obern Enden der Schrauben greifen durch einen Rahmen, der aus den Hölzern *F* und *G* besteht und an zwei flachen Haken hängt, die über die Röhre übergreifen. Diese Haken fassen aber, wie die Figur zeigt, die starken Bolzen, welche die beiden Hölzer *G* unter sich verbinden. Indem die auf den Hölzern *F* ruhenden Schraubenmuttern mit starken Schlüsseln angezogen werden, so erfolgt der beabsichtigte Druck gegen die Röhre, der ihr weiteres Eindringen veranlafst. Es darf dabei kaum erwähnt werden, dafs sowol über den Splinten, wie unter den Muttern der Schrau-

ben Unterlagsplatten angebracht werden müssen, und daſs man Haken von verschiedener Länge in Bereitschaft haben muſs, um jederzeit die Röhre gehörig fassen zu können.

Indem es darauf ankommt, die Röhre sogleich weiter eindringen zu lassen, wie das Bohrloch sich vertieft, so werden die Schraubenschlüssel jedesmal in Bewegung gesetzt, sobald der Erdbohrer sich gefüllt hat, und mit seinem Inhalte gehoben wird.

Ueber die weitere Fortsetzung der Arbeit ist nach den bereits gemachten Mittheilungen wenig hinzuzufügen. Der Erdbohrer oder auch wohl der Löffel, den man im Sande anwendet, wird abwechselnd gefüllt, und alsdann gehoben und entleert, während man die Röhre jedesmal kräftig herabdrückt. Sobald letztere mit ihrem obern Ende den Täucher nahe erreicht hat, so wird sie verlängert, und ebenso verlängert man durch Ansetzen eines neuen Gliedes auch das Gestänge. Es tritt indessen, wenn der Boden auch von Geschieben und andern festen und harten Körpern frei ist, bei zunehmender Tiefe endlich der Zeitpunkt ein, wo die Reibung der Röhre gegen die umgebende Erde so groſs wird, daſs man sie nicht weiter herabtreiben kann, oder auch wohl bei Anwendung einer starken Kraft ihre Beschädigung besorgt werden müſste. Dieses pflegt in der Tiefe von etwa 100 Fuſs zu geschehn, und alsdann bleibt nur übrig, eine zweite, etwas engere Röhre einzubringen, die sich in die erste leicht einschieben läſst, also in der ganzen Tiefe des bereits ausgeführten Bohrloches keine merkliche Reibung erfährt. Es ist dabei aber Bedingung, dieser zweiten Röhre die möglichst gröſste Weite zu geben, da man nicht weiſs, wie viele Röhren später noch eingeschoben werden müssen, bevor man den gesuchten reichhaltigen und reinen Quell anbohrt.

Der geregelte Fortgang der Arbeit wird wesentlich gestört, sobald man auf Geschiebe trifft, und hierauf muſs man beim Durchbohren der Alluvial- und Diluvial-Schichten im nördlichen Deutschlande immer gefaſst sein, da die erratischen Granitblöcke sich fast überall in verschiedenen Tiefen vorfinden. Dieselben sind gewöhnlich mehr oder weniger abgerundet, woher der Meiſsel, wenn er die Oberfläche nicht normal trifft, seitwärts davon abspringt, und sie nur wenig oder gar nicht angreift. Eine sehr sichere Führung desselben ist daher nothwendig. Wie solche durch eine seitwärts angebrachte Feder bewirkt werden kann, ist bereits oben (§. 11) mit-

getheilt worden. Zuweilen treten indessen sehr kleine Geschiebe nur wenig in das Bohrloch und es gelingt alsdann wohl, durch passend geformte Werkzeuge sie soweit seitwärts zu drängen, daſs die Röhre neben ihnen vorbeigeschoben werden kann. Dieses ist indessen häufig nicht möglich, und man muſs in solchem Falle den vortretenden Theil mit dem Meiſsel beseitigen. Wenn aber der Stein nicht groſs und nahe kugelförmig abgerundet ist, so wird die Wirkung des Meiſsels noch dadurch geschwächt, daſs der Stein in seinem Lager sich dreht und sonach jedem Stoſse eine neue Angriffs-Fläche bietet. Wenn man nach dem langsamen Fortgange der Arbeit dieses vermuthet, so empfiehlt es sich, eine Quantität recht zähen Thon in das Bohrloch zu werfen und diesen möglichst compact anzustampfen. Hierdurch gelingt es, den Stein fest einzubetten, so daſs er unbeweglich seine Lage behält und nunmehr der Meiſsel gehörig auf ihn einwirken und den vortretenden Theil abstoſsen kann.

Schon in diesem Falle läſst sich die Anwendung des Schwengels nicht vermeiden, wobei die Stöſse viel schneller und schärfer erfolgen, als wenn man das Gestänge noch mit der Winde heben und herablassen wollte. Auch die Anwendung des oben beschriebenen Fallstückes erleichtert diese Arbeit wesentlich.

Andere Schwierigkeiten treten beim Durchbohren von Sandschichten ein, besonders wenn dieselben stark mit Wasser durchzogen sind. Die Erdbohrer, wie auch die Löffel werden bei nassem Sande leicht von dem hindurchdringenden Wasser, sobald man sie anhebt, vollständig entleert. In solchem Falle kann man einen Apparat anwenden, der unten ganz geschlossen ist, wie Fig. 31 darstellt. Derselbe muſs, da er sich nur von oben füllen kann, ringsum in der Röhre einen weiten Spielraum von 1 bis 2 Zoll frei lassen, damit der lose Sand zur Seite ansteigen und in ihn hineinfallen kann. Zuweilen gelingt es auch, solche Sandschichten mit weniger Mühe zu durchfahren, wenn man wieder zähen Thon in das Bohrloch wirft, denselben durch Aufstoſsen von Meiſseln mit dem Sande vermengt und dadurch eine festere Masse darstellt, die sich mit dem Erdbohrer heben läſst.

Es muſs in Betreff der Sandschichten noch daran erinnert werden, daſs dieselben sich in hohem Grade auflockern, und alsdann um so störender sind, mit je gröſserem Drucke das Wasser sie in der Richtung von unten nach oben durchdringt. Jeder Löffel, den

man aushebt, vermindert den Druck, den der Sand von oben erfährt, veranlaſst also ein solches Aufsteigen des Wassers. Dieses läſst sich aber verhindern, wenn man durch Hinzugieſsen von Wasser wieder auf der obern Seite den stärkern Druck darstellt. In manchen Fällen ist dieses Verfahren mit Vortheil angewendet worden.

Dieses Auftreiben des Sandes ist besonders beim Einsetzen einer neuen Röhrentour sehr nachtheilig, indem der Sand alsdann den engen Zwischenraum zwischen dieser und der vorhergehenden Röhre so vollständig anfüllt und sich darin so fest ablagert, daſs die neue Röhre sich nicht weiter herabtreiben läſst, und daher ihr Zweck ganz verfehlt wird. In diesem Falle muſs man den Sand durch Zusatz von anderem Boden zu binden suchen, und dieses geschieht in folgender Weise. Man bringt wieder fetten Thon in das Bohrloch, vermengt denselben mittelst Meiſselschlägen mit dem Sande und läſst auf das Gemenge einen besondern Stampfer einwirken, um eine recht geschlossene Masse darzustellen. Diese hebt man mittelst des Bohrers aus, ohne jedoch die natürliche Ablagerung des reinen Sandes zu berühren. Man muſs daher groſse Aufmerksamkeit auf den jedesmaligen Inhalt des Bohrers verwenden und denselben nicht weiter wirken lassen, sobald das Gemenge nur noch wenig Thontheilchen enthält. Alsdann wirft man aufs Neue zähen Thon in das Bohrloch, das nunmehr sich schon bis unter die Röhre fortsetzt, und wiederholt dieselbe Operation. Dieses geschieht so lange, bis man das Bohrloch etwa 3 Fuſs vor die Röhre getrieben hat. Nunmehr säubert man die Röhre von dem daran vielleicht noch haftenden Sande und bringt aufs Neue fetten Thon ein, der in einzelnen Lagen fest angestampft wird, bis er nicht nur das vorgetriebene Bohrloch füllt, sondern auch 4 bis 5 Fuſs hoch in die Röhre tritt. Wenn Alles möglichst fest angestoſsen ist, wartet man 24 Stunden, damit die im Wasser noch schwebenden Erdtheilchen vollständig niederschlagen können. Diese werden nunmehr ausgehoben und es wird ein Bohrloch eingetrieben, welches der Weite der neuen Röhrentour entspricht. Sobald dieses sich bis auf 8 oder 10 Zoll dem Ende der ersten Röhre genähert hat, so stellt man die folgende engere Röhre ein, und die Bohrung wird alsdann wieder unter stetem Nachtreiben der Röhre fortgesetzt. Der Thonring zwischen beiden Wänden verhindert schon das Durchdringen des Sandes, und noch mehr wird derselbe durch

das feste Gemenge abgehalten, das sich mehrere Fufs tief unter die erste Röhre fortsetzt.

In gleicher Art, wie nach vorstehenden Mittheilungen durch das Einbringen von zähem Thon das Bohren im Sande erleichtert wird und an Sicherheit gewinnt, so ist andern Falls auch das Einschütten reinen Sandes zuweilen sehr vortheilhaft. Wenn nämlich in plastischem Thone gebohrt wird, während das Bohrloch mit Wasser gefüllt ist, so setzt sich derselbe um den Erdbohrer so fest an, dafs dieser sich in einen Cylinder verwandelt, dessen Durchmesser sich bis zur Weite der Röhre vergröfsert, und dadurch wird sowol das Drehen, wie auch das Ausheben übermäfsig erschwert. Geschieht dieses, so kann man durch einen Zusatz von Sand, und durch Vermengung desselben mit dem Thone die Masse in der Art verändern, dafs jener Uebelstand verschwindet.

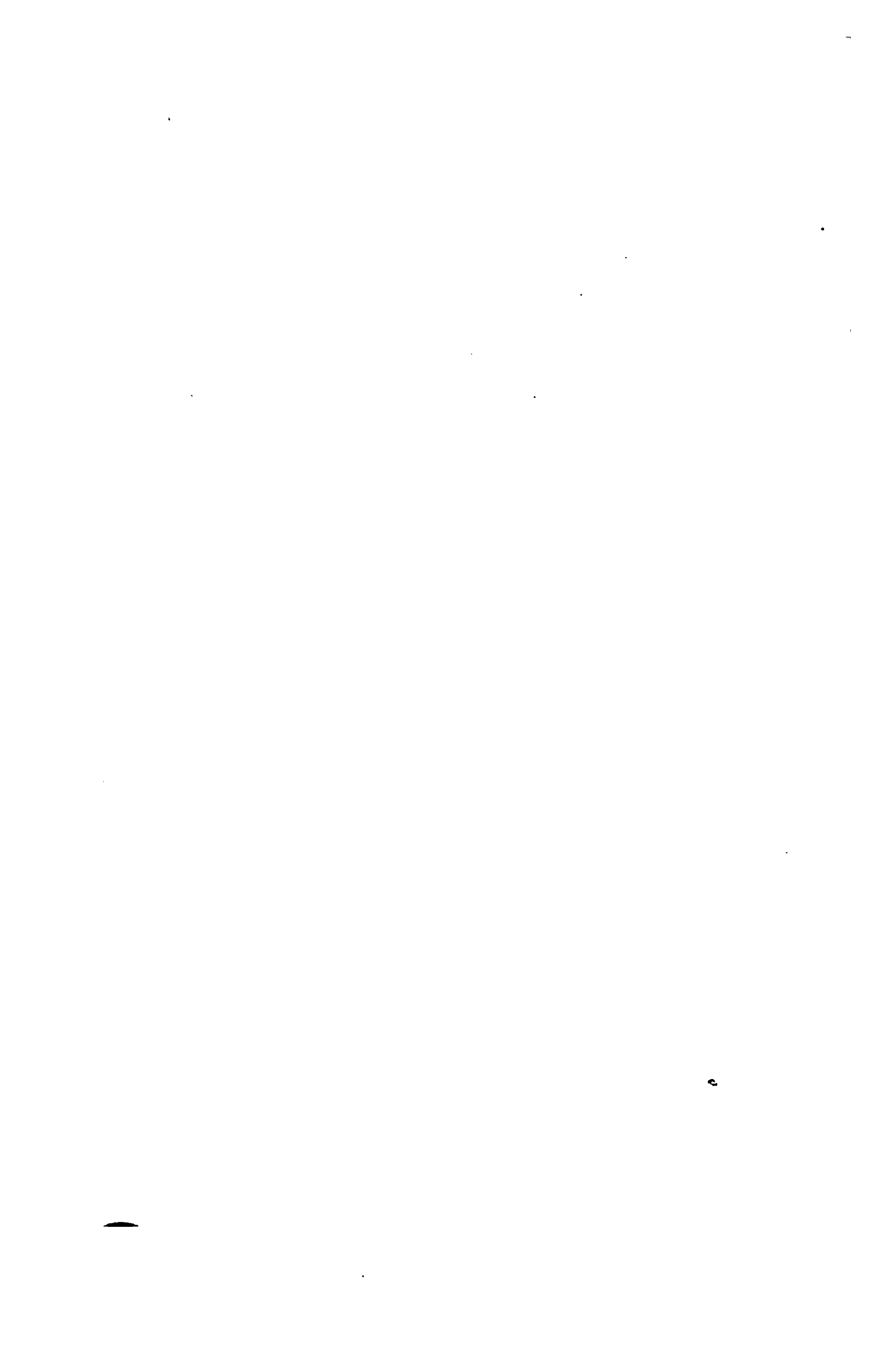
Beim Durchbohren des Thones treten oft noch andre Hindernisse ein, die nicht unerwähnt bleiben dürfen. Ist derselbe sehr trocken, so wirkt der Erdbohrer nicht mehr, man mufs vielmehr, wie im Felsboden die Meifseln benutzen. Wenn aber das Bohrloch gleichzeitig mit Wasser gefüllt ist, so dringt dieses bald in die gelösten Thonstücke, sowie auch in die frei gelegten Seitenwände des Bohrloches ein, und in dem die Masse zu quellen anfängt, also ein gröfseres Volum annimmt, so wird die Reibung gegen die Röhre so stark, dafs sie sich nicht weiter herabtreiben läfst. Um dieses zu verhindern, empfiehlt es sich, die oben beschriebenen Erweiterungs-Bohrer anzuwenden.

Zuweilen wird die Röhre, wenn sie auch noch nicht weit über die vorhergehende hinaus eingedrungen ist, entweder durch ein dagegen stofsendes Geschiebe oder in andrer Weise so fest gehalten, dafs mittelst der Schrauben-Vorrichtung die Reibung nicht überwunden werden kann. In solchem Falle ist ein kräftiger Schlag mit einem Rammklotze oft von grofser Wirksamkeit, namentlich wenn gleichzeitig die Schrauben einen starken Druck ausüben, also das Zurückgehn der Röhre in ihre frühere Stellung verhindern. Zu diesem Zwecke wird die Ramme vielfach benutzt, wenn sie aber, wie immer geschieht mittelst eines aufgelegten Blockes auf das obere Ende der Röhre wirkt, so schwächt sich der Stofs in hohem Maafse bis zum Uebergange zu dem Punkte, wo das Hindernifs sich befindet,

das gewöhnlich dem untern Ende ziemlich nahe liegt. Bei der Nachgiebigkeit und Elasticität der Röhre leidet diese unter den heftigen Rammschlägen und ihre Verbindung in den Stöfsen lockert sich oft so sehr, dafs die Fortsetzung der Arbeit unmöglich wird. Dieses liefse sich vermeiden und ein günstigerer Erfolg erwarten, wenn die Rammschläge nicht auf das obere, sondern auf das untere Ende der Röhre ausgeübt werden könnten. Das Fallstück am Gestänge bietet hierzu Gelegenheit. Die Schwierigkeit liegt nur darin, einen Block am untern Ende der Röhre so zu befestigen, dafs der darauf fallende Schlag sich auf die letztere überträgt. Es ist vorgeschlagen worden, die Röhre zu diesem Zwecke mit einem stählernen Schuh zu versehn, der einen halben Zoll vor die innere Röhrenwand vortritt, aber gerade dadurch wird theils der Gebrauch der verschiedenen Bohrer, theils aber auch das Einbringen einer folgenden Röhrentour sehr erschwert, woher man diese wichtige Aufgabe noch nicht als vollständig gelöst ansehn kann.

Die vorstehenden Mittheilungen beziehn sich allein auf die Ausführung Artesischer Brunnen mittelst fester Gestänge. Wesentlich verschieden davon sind die Methoden des Seilbohrens. Nach diesen hängt man die Bohrer und sonstigen Apparate an ein Seil, wodurch denselben keine drehende, sondern nur eine auf und abwärts gerichtete Bewegung mitgetheilt werden kann. Letztere genügt auch zum Aufstofsen der Meifselbohrer, wie zum Heben des gelösten Materials mittelst der Löffel, und sonach kann man in festem und gleichmäfsigem Gestein auch nach dieser Methode Bohrlöcher ausführen, wie mehrfach geschehn ist. Die ganze Einrichtung vereinfacht sich dabei ungemein und wird viel wohlfeiler, während zugleich das schwierige und sehr zeitraubende Zerlegen und Zusammensetzen des Gestänges beim jedesmaligen Ausheben des Bohrers fortfällt. Dagegen treten die wesentlichsten und oft unüberwindlichen Schwierigkeiten ein, sobald man den gewachsenen und gleichmäfsig festen Stein verläfst. Das Durchfahren einer losen Schicht ist in der Tiefe kaum noch ausführbar, während das Einbringen von Futterröhren sich dadurch verbietet, dafs das Bohrloch nicht mehr den kreisförmigen Querschnitt behält, sondern sich zufällig anders gestaltet. Dazu kommt noch, dafs durch die Elasticität des Seiles ein grofser Theil des Hubes aufgehoben, und das Seil in kurzer Zeit durch Abreiben unbrauchbar wird. Die gröfste Verlegenheit tritt

endlich ein, wenn Bohrer oder andere Theile des Apparates herabgefallen sind. Man hat zwar Fange-Instrumente auch für die Aufhängung am Seile angegeben, doch sind diese in ihrem Gebrauche noch unsicherer, als diejenigen an festem Gestänge. Mit Rücksicht auf diese sehr grofsen Nachtheile ist das Seilbohren in neuster Zeit ganz aufser Gebrauch gekommen, und die nähere Beschreibung des betreffenden Verfahrens und der Apparate ist um so mehr entbehrlich, als diese Methode in denjenigen Fällen, die bei uns am häufigsten vorkommen, nämlich beim Bohren im aufgeschwemmten Boden, überhaupt nicht Anwendung findet.



Dritter Abschnitt.

Wasserleitungen.

§. 14.

Ausflufs des Wassers durch Oeffnungen in dünnen Wänden.

Vielfach und selbst von den berühmtesten Mathematikern ist versucht worden, die eigenthümlichen Bewegungen des Wassers und der Flüssigkeiten überhaupt, aus den allgemein gültigen Gesetzen der Mechanik zu erklären. Dabei zeigen sich jedoch selbst unter den einfachsten Voraussetzungen so grofse Schwierigkeiten, dafs nur in wenigen Fällen die Rechnungen durchgeführt werden können. Diese Schwierigkeiten steigern sich aber noch in hohem Maafse, wenn die unverkennbare Eigenschaft aller Flüssigkeiten berücksichtigt wird, wonach die einzelnen Theilchen derselben an einander haften, also zwischen ihnen nur unmerkliche Uebergänge der Geschwindigkeiten stattfinden. Hierdurch bilden sich vielfache innere Bewegungen, welche mit der allgemeinen Richtung der Strömung nicht zusammenfallen, und derselben oft direct entgegengekehrt sind.

Dieser rein theoretische Weg hat bisher in der Hydraulik noch zu keinem Resultate geführt, welches durch die Beobachtungen bestätigt wäre. Nichts desto weniger ist es dringendes Bedürfnifs, bei jeder hydrotechnischen Anlage den zu erwartenden Erfolg wenigstens annähernd vorher zu kennen, und zu diesem Zwecke bleibt nur übrig, die unter ähnlichen Verhältnissen gemachten Erfahrungen zu sammeln, und daraus auf die Gesetze der Bewegung zu schliefsen. Die Resultate, zu welchen man auf diesem empirischen Wege gelangt, sind aber keineswegs so sicher und allgemein gültig, wie mathematische Sätze, und bei ihrer Anwendung mufs man sich vorzugsweise hüten, sie über die Grenzen der zum Grunde liegenden Beobachtungen hinaus noch benutzen zu wollen. Das allgemeine Gesetz ist unbekannt, aus den Beobachtungen weifs man nur, dafs innerhalb gewisser Grenzen die Erscheinungen sich an das daraus

hergeleitete Gesetz anschliefsen. Ob dieses darüber hinaus noch gilt, weifs man nicht, da man aber nur von Erfahrungen ausgegangen ist, so darf man auch keine allgemeine Gültigkeit voraussetzen. Man hat sich zwar mehrfach bemüht, die in solcher Weise gefundenen Gesetze zu erklären und sogar durch leichte Raisonnements zu beweisen, diese Beweise beruhen indessen gewöhnlich auf ganz unsichern Voraussetzungen, und sind sogar in vielen Fällen augenscheinlich unrichtig.

Im Folgenden sollen die wichtigsten derjenigen empirischen Gesetze, die sich auf den Ausflufs des Wassers durch Oeffnungen in Wänden, oder durch Röhrenleitungen beziehn, mitgetheilt und soweit es geschehn kann, der Zusammenhang derselben mit den allgemeinen mechanischen Gesetzen nachgewiesen werden. Die Bewegung des Wassers in offenen Leitungen wird bei Gelegenheit der Ströme behandelt werden.

Nach einem bekannten Gesetze der Hydrostatik ist der Druck, den das Wasser auf jeden kleinen Theil der Wand eines Behälters ausübt, dem Gewichte eines Wasserprisma's gleich, welches diesen Theil der Wand zur Grundfläche und den verticalen Abstand desselben vom freien Wasserspiegel zur Höhe hat. Dieser Druck wirkt normal gegen die Wandfläche. Für gröfsere Theile der Wand, wo der Abstand vom Wasserspiegel, oder auch die Richtung der Wandfläche sich ändert, läfst sich das Gesetz über Stärke und Richtung des Druckes nicht so kurz ausdrücken. Aus der Zusammensetzung der verschiedenen Pressungen auf die einzelnen Theile kann man indessen immer die Resultate darstellen.

Die Wassertheilchen befinden sich sämmtlich in einer Spannung oder unter einem Drucke, welcher ihrer Druckhöhe oder ihrer verticalen Entfernung vom Wasserspiegel entspricht. Wenn also plötzlich an einer Stelle die Wand des Gefäfses beseitigt wird, so werden die zunächst liegenden Wassertheilchen einen Impuls erhalten, der dem verticalen Abstande vom Wasserspiegel oder der Druckhöhe entspricht, das heifst, sie nehmen dieselbe G e s c h w i n d i g k e i t an, welche sie erhalten hätten, wenn sie aus der Höhe des Wasserspiegels bis zu der Oeffnung frei herabgefallen wären. Im Allgemeinen können jedoch nur die ersten Wassertheilchen diese Geschwindigkeit annehmen, die folgenden werden nur in dem Falle ebenso heftig ausspritzen, wenn der Druck vor der Oeffnung durch die

eintretende Bewegung nicht vermindert wird. So pflegt beim schnellen Oeffnen des Hahns neben der Ausflufsmündung eines Springbrunnens der Strahl sich im ersten Momente höher zu erheben, als später, nachdem die regelmäſsige Strömung in der Röhre eingetreten ist. Aus gleichem Grunde spritzt der so eben erbohrte Artesische Quell unter dem vollen hydrostatischen Wasserdrucke höher, als später geschieht, indem der Druck nur nach Maaſsgabe des Zuflusses sich ersetzt.

Das Wasser, welches durch eine Oeffnung in der Wand des Behälters ausströmt, ersetzt sich mittelbar aus derjenigen Wasserschicht, welche die freie Oberfläche bildet. Es entsteht nämlich weder vor der Oeffnung, noch an irgend einer andern Stelle im Innern der Wassermasse ein leerer Raum, sondern der Wasserspiegel senkt sich. Wenn man daher unter dem allgemeinen mechanischen Gesichtspunkte die Verhältnisse beurtheilt, so kommt man zu dem Resultate, daſs die ausströmende Wassermenge wirklich die Geschwindigkeit hat, die der ganzen Druckhöhe entspricht, vorausgesetzt, daſs keine Widerstände eintreten, welche einen Verlust an lebendiger Kraft veranlassen. Es kommt darauf an, zu prüfen, inwiefern die Erfahrung dieses bestätigt.

Man nehme ein Gefäſs, welches durch eine treppenartig gebrochene Fläche begrenzt wird, deren untere Seite im Innern des Gefäſses liegt. Versieht man die horizontalen Ebenen, welche den Trittstufen einer Treppe entsprechen, mit feinen Oeffnungen, so bilden sich bei der Füllung des Gefäſses eben so viele springende Strahlen, die zwar unter verschiedenen Druckhöhen austreten, aber sämmtlich beinahe die Höhe des Wasserspiegels im Gefäſse erreichen. Da nun nach den bekannten Gesetzen der Mechanik die Geschwindigkeit eines frei aufsteigenden Körpers in derselben Art abnimmt, wie die des frei fallenden Körpers zunimmt, so darf man den Schluſs ziehn, daſs die bemerkten geringen Unterschiede nur vom Widerstande der Luft herrühren, und daſs die Geschwindigkeit, womit das Wasser ausspritzt, eben so groſs ist, als wenn dasselbe von der Oberfläche bis zu den Ausfluſsöffnungen frei herabgefallen wäre. Diesen Satz sprach zuerst Torricelli im Jahre 1643 aus, nachdem er die Bestätigung desselben in dem erwähnten Versuche gefunden hatte.

Es blieb indessen ungewiſs, ob die geringe Verminderung der

Steighöhe nur durch den Widerstand der Luft veranlaſst wird, oder ob vielleicht die Geschwindigkeit des austretenden Wassers nicht ganz so groſs ist, als jenes Gesetz besagt. Die Versuche von Michelotti haben die Richtigkeit der ersten Voraussetzung und sonach auch den Torricelli'schen Lehrsatz bestätigt. Bei diesen Versuchen wurde aber nicht die Höhe des springenden Strahls gemessen, die niemals genau bestimmt werden kann, vielmehr lieſs Michelotti den Strahl aus einer verticalen Wand hervorspringen und bestimmte die Curve, welche derselbe bildete. Wenn der Torricelli'sche Lehrsatz richtig war, so muſste der Strahl eine halbe Parabel beschreiben, deren Parameter der vierfachen Druckhöhe gleich ist. Michelotti bestimmte durch Messung der Coordinaten die Parameter von drei Parabeln, die sich unter Druckhöhen von ungefähr 7, 12 und 22 Fuſs bildeten und fand die Verhältnisse der wirklichen Druckhöhen zu denen, die sich unter obiger Voraussetzung aus der Messung ergaben, gleich

1 : 0,993
1 : 0,988 und
1 : 0,983

Man ersieht also, daſs die Unterschiede bei kleineren Druckhöhen und folglich bei kleineren Geschwindigkeiten, wobei der Widerstand der Luft geringer ist, noch nicht ein Procent erreichen, mit zunehmender Geschwindigkeit wachsen sie etwas an, und dieser Umstand bestätigt die Voraussetzung, daſs nur der Widerstand der Luft die Verminderung der Geschwindigkeit veranlaſst.

Man sollte hiernach vermuthen, daſs die Wassermenge, die in der Zeiteinheit durch eine kleine Oeffnung abflieſst, gleich sei dem Producte aus dem Flächeninhalte der Oeffnung in die Geschwindigkeit, welche der Druckhöhe entspricht. Dieses ist indessen nicht der Fall, alle Beobachtungen zeigen vielmehr, daſs weniger Wasser ausflieſst. Diese Beobachtungen geben aber auch zu erkennen, daſs unter übrigens gleichen Umständen die Wassermengen den Quadratwurzeln aus den Druckhöhen proportional sind, oder daſs sie zu jenen Producten in einem constanten Verhältnisse stehn. So ergiebt sich durch Interpolation der von Poncelet und Lesbros gefundenen Resultate, daſs durch eine quadratische Oeffnung von 2 Decimeter Seite, unter dem Drucke von

0,40 0,70 1,00 1,30 und 1,60 Meter,

Wassermassen ausflossen, die sich zu einander verhielten, wie

1,000 : 1,330 : 1,590 : 1,806 : 2,000

was sehr genau mit dem Verhältnisse der Quadratwurzeln aus den Druckhöhen übereinstimmt, dieses ist nämlich

1,000 : 1,323 : 1,581 : 1,803 : 2,000.

Es läfst sich sonach die wirklich ausfliefsende Wassermenge berechnen, wenn der Flächeninhalt der Oeffnung in einem bestimmten Verhältnisse verkleinert, oder mit einem aus den Beobachtungen hergeleiteten constanten Factor multiplicirt wird. Letzteren nennt man den Contractions-Coefficient. Die genaue Ermittelung desselben hat seit langer Zeit die Physiker beschäftigt, und wenn gleich der gröfste Theil der angestellten Beobachtungen und Messungen nur in sehr kleinem Maafsstabe ausgeführt ist, so befinden sich darunter doch manche, die sich auf gröfsere Oeffnungen beziehn und deren Resultate daher eine sichere Anwendung auf Schützöffnungen und dergleichen gestatten. Unter den ältern Beobachtungen dieser Art sind besonders diejenigen wichtig, die Michelotti, sowol der Vater, als der Sohn angestellt haben. Beide benutzten dazu das Wasser des Doria, den sie in einiger Entfernung von Turin nach einem Thurme führten, der nur zu diesem Zwecke gebaut war, und wo Druckhöhen sich darstellen liefsen, die bis 24 Fufs mafsen.

Unter den neueren Arbeiten müssen vorzugsweise die von Poncelet und Lesbros erwähnt werden, die sich dadurch auszeichnen, dafs eine sehr grofse Wassermenge, die beliebig aus der Mosel entnommen wurde, zu den Versuchen verwendet werden durfte. Eine kurze Beschreibung der Beobachtungsmethode und des ganzen Apparates *) wird schon insofern hier nicht überflüssig sein, als die verschiedenen Rücksichten und Vorsichtsmaafsregeln, die man bei Anstellung hydraulischer Messungen zu nehmen hat, sich dabei klar herausstellen. Aufserdem aber wird sich hiernach auch um so sicherer die Zuverlässigkeit der gefundenen Resultate beurtheilen lassen. Die Versuche wurden auf Veranlassung des französischen Kriegsministeriums in den Jahren 1827 und 1828 angestellt, und die Vorkehrungen, die dabei getroffen waren, sind folgende.

Innerhalb der Festungswerke zu Metz hat die Mosel ein Gefälle

---

*) *Expériences hydrauliques sur les lois d'écoulement de l'eau, par Poncelet et Lesbros.* Paris 1832.

von 12¾ Fuſs, wovon jedoch nur ein kleiner Theil als Druckhöhe für den ausflieſsenden Wasserstrahl benutzt werden konnte, weil der gröſste Theil desselben für das zweckmäſsige und bequeme Auffangen und Abführen des ausströmenden Wassers erforderlich war Die gröſste Druckhöhe, die man darstellte, betrug 4¾ Rheinländisch Fuſs. Die verhandenen Bassins und Stauanlagen, welche im fortificatorischen Interesse hier bestehn, eigneten sich nicht zu den Beobachtungen, indem keine Aenderungen daran gestattet waren. Es wurde sonach ein besonderes Bassin für das Druckwasser von ungefähr 112 Quadratruthen Flächeninhalt ausgegraben und eingedeicht, welches durch einen Zuleitungscanal mit dem Oberwasser der Mosel in Verbindung stand. Es konnte beliebig trocken gelegt und bis 11⅝ Fuſs mit Wasser angefüllt werden. Um den Wasserstand in diesem Bassin auf jeder Höhe constant zu erhalten, während bei jedem Versuche eine verschiedene Wassermenge consumirt wurde, war es nöthig, den Ab- und Zufluſs jedesmal zu reguliren und auſserdem die Höhe des Wasserstandes sehr genau zu messen. Jener Zuleitungscanal wurde demnach mit einem Schütz versehn, und aus dem Bassin wurde das Wasser nicht nur durch diejenigen Oeffnungen abgeführt, deren Ergiebigkeit man messen wollte, sondern auſserdem noch durch einen seitwärts belegenen Grundablaſs, der zur Regulirung des Wasserstandes diente, sobald einige Veränderung desselben sich bemerken lieſs. Der Grundablaſs hatte zugleich den Zweck, das Bassin am Schlusse jeder Beobachtungsreihe trocken zu legen. Bei der groſsen Ausdehnung des Bassins erzeugte jedoch theils der Wind einen merklichen Wellenschlag, theils aber lieſsen sich auch nach Maaſsgabe des jedesmaligen Abflusses gewisse partielle Strömungen erkennen. Um beide Uebelstände zu beseitigen, wurde eine Weidenpflanzung darin angelegt.

Zur Beobachtung des Wasserstandes dienten besondere Pegel. Diese bestanden aus sorgfältig bearbeiteten Maaſsstäben, die am Ufer lothrecht aufgestellt, und mit Nonien versehen waren, welche durch Stellschrauben bewegt werden konnten. Die Nonien waren verbunden mit abwärts gekehrten Stahlspitzen, deren Berührung mit dem Wasserspiegel sich sehr genau beobachten lieſs. Die einzelnen Millimeter (0,46 Linien) konnte man unmittelbar ablesen, doch war es unter günstigen Umständen nicht schwer, die Zehntheile derselben durch Schätzung zu bestimmen. Von diesen Maaſsstäben waren an

lem erwähnten Bassin drei angebracht, die während der Versuche
›rtdauernd beobachtet wurden. Der erste befand sich ohnfern der
lündung des Zuleitungscanals, der zweite 13 Fufs vor der Abflufs-
fnung und der letzte unmittelbar neben derselben, und zwar diente
eser hauptsächlich, um die Senkung des Wasserspiegels über der
ffnung zu messen. Zur Vergleichung der drei Pegel unter sich
rde der Zu- und Abflufs des Bassins unterbrochen, und dadurch
Wasser ins Niveau gestellt.

Die Durchflufsöffnung, worin der zu untersuchende Strahl sich bildete, war vierseitig, und zwar 2 Decimeter oder 7 Zoll $7\frac{1}{4}$ Linien breit und eben so hoch, in einer Messingplatte ausgeschnitten. Man hatte aber, um das Eintreten aller derjenigen Erscheinungen zu vermeiden, welche schon bei kurzen Röhren vorzukommen pflegen und wovon später die Rede sein wird, diese quadratische Oeffnung durch Schneiden begrenzt, welche in derjenigen Oberfläche der Platte lagen, die dem Druckwasser zugekehrt war. Dafs diese Platte mit grofser Vorsicht eingesetzt wurde, so dafs die Ränder der Oeffnung wirklich horizontal und vertical lagen, bedarf kaum der Erwähnung, doch mufs darauf aufmerksam gemacht werden, dafs mittelst des dritten Pegels auch die Höhe des untern Randes der Oeffnung bestimmt werden konnte, sobald man das Wasser im Bassin weit genug gesenkt hatte. Die Oeffnung wurde durch ein messingenes Schütz, das an seinem untern Rande gleichfalls zugeschärft war, geschlossen, und der Maafsstab an der Zugstange liefs die jedesmalige Höhe der Oeffnung beurtheilen. Hierbei zeigten sich indessen manche Schwierigkeiten, denn die Platte, die das Schütz bildete, bog sich merklich ein, auch die Zugstange behielt nicht unverändert ihre Länge, woher die Anbringung von Absteifungen und andern Vorsichtsmaafsregeln und Correctionen nöthig wurde.

Das durch diese Oeffnung strömende Wasser wurde in einem hölzerne Gerinne aufgefangen, und nach dem Unterwasser der Mosel geführt. Man liefs jedesmal so lange den Strahl ausspritzen, ohne seine Ergiebigkeit zu messen, bis die Zu- und Abflüsse vollständig regulirt waren, oder bis man sich durch Beobachtung der Pegel überzeugt hatte, dafs das Wasser in dem Bassin weder stieg noch fiel, sondern seine Höhe unverändert behielt. Sobald dieser Zeitpunkt eingetreten war, ging man zur Bestimmung der Wassermenge über, und hierzu diente ein hölzerner Kasten unter dem Ge-

von 12¼ Fuſs, wovon jedoch nur ein kleiner Theil als Druckhöhe für den ausflieſsenden Wasserstrahl benutzt werden konnte, weil der gröſste Theil desselben für das zweckmäſsige und bequeme Auffangen und Abführen des ausströmenden Wassers erforderlich war. Die gröſste Druckhöhe, die man darstellte, betrug 4¾ Rheinländische Fuſs. Die verhandenen Bassins und Stauanlagen, welche im fortificatorischen Interesse hier bestehn, eigneten sich nicht zu den Beobachtungen, indem keine Aenderungen daran gestattet waren. Es wurde sonach ein besonderes Bassin für das Druckwasser von ungefähr 112 Quadratruthen Flächeninhalt ausgegraben und eingedeicht, welches durch einen Zuleitungscanal mit dem Oberwasser der Mosel in Verbindung stand. Es konnte beliebig trocken gelegt und bis 11¾ Fuſs mit Wasser angefüllt werden. Um den Wasserstand in diesem Bassin auf jeder Höhe constant zu erhalten, während bei jedem Versuche eine verschiedene Wassermenge consumirt wurde, war es nöthig, den Ab- und Zufluſs jedesmal zu reguliren und auſserdem die Höhe des Wasserstandes sehr genau zu messen. Jener Zuleitungscanal wurde demnach mit einem Schütz versehn, und aus dem Bassin wurde das Wasser nicht nur durch diejenigen Oeffnungen abgeführt, deren Ergiebigkeit man messen wollte, sondern auſserdem noch durch einen seitwärts belegenen Grundablaſs, der zur Regulirung des Wasserstandes diente, sobald einige Veränderung desselben sich bemerken lieſs. Der Grundablaſs hatte zugleich den Zweck, das Bassin am Schlusse jeder Beobachtungsreihe trocken zu legen. Bei der groſsen Ausdehnung des Bassins erzeugte jedoch theils der Wind einen merklichen Wellenschlag, theils aber lieſsen sich auch nach Maaſsgabe des jedesmaligen Abflusses gewisse partielle Strömungen erkennen. Um beide Uebelstände zu beseitigen, wurde eine Weidenpflanzung darin angelegt.

Zur Beobachtung des Wasserstandes dienten besondere Pegel. Diese bestanden aus sorgfältig bearbeiteten Maaſsstäben, die am Ufer lothrecht aufgestellt, und mit Nonien versehen waren, welche durch Stellschrauben bewegt werden konnten. Die Nonien waren verbunden mit abwärts gekehrten Stahlspitzen, deren Berührung mit dem Wasserspiegel sich sehr genau beobachten lieſs. Die einzelnen Millimeter (0,46 Linien) konnte man unmittelbar ablesen, doch war es unter günstigen Umständen nicht schwer, die Zehntheile derselben durch Schätzung zu bestimmen. Von diesen Maaſsstäben waren an

dem erwähnten Bassin drei angebracht, die während der Versuche fortdauernd beobachtet wurden. Der erste befand sich ohnfern der Mündung des Zuleitungscanals, der zweite 13 Fufs vor der Abflufsöffnung und der letzte unmittelbar neben derselben, und zwar diente dieser hauptsächlich, um die Senkung des Wasserspiegels über der Oeffnung zu messen. Zur Vergleichung der drei Pegel unter sich wurde der Zu- und Abflufs des Bassins unterbrochen, und dadurch das Wasser ins Niveau gestellt.

Die Durchflufsöffnung, worin der zu untersuchende Strahl sich bildete, war vierseitig, und zwar 2 Decimeter oder 7 Zoll $7\frac{3}{4}$ Linien breit und eben so hoch, in einer Messingplatte ausgeschnitten. Man hatte aber, um das Eintreten aller derjenigen Erscheinungen zu vermeiden, welche schon bei kurzen Röhren vorzukommen pflegen und wovon später die Rede sein wird, diese quadratische Oeffnung durch Schneiden begrenzt, welche in derjenigen Oberfläche der Platte lagen, die dem Druckwasser zugekehrt war. Dafs diese Platte mit grofser Vorsicht eingesetzt wurde, so dafs die Ränder der Oeffnung wirklich horizontal und vertical lagen, bedarf kaum der Erwähnung, doch mufs darauf aufmerksam gemacht werden, dafs mittelst des dritten Pegels auch die Höhe des untern Randes der Oeffnung bestimmt werden konnte, sobald man das Wasser im Bassin weit genug gesenkt hatte. Die Oeffnung wurde durch ein messingenes Schütz, das an seinem untern Rande gleichfalls zugeschärft war, geschlossen, und der Maafsstab an der Zugstange liefs die jedesmalige Höhe der Oeffnung beurtheilen. Hierbei zeigten sich indessen manche Schwierigkeiten, denn die Platte, die das Schütz bildete, bog sich merklich ein, auch die Zugstange behielt nicht unverändert ihre Länge, woher die Anbringung von Absteifungen und andern Vorsichtsmaafsregeln und Correctionen nöthig wurde.

Das durch diese Oeffnung strömende Wasser wurde in einem hölzerne Gerinne aufgefangen, und nach dem Unterwasser der Mosel geführt. Man liefs jedesmal so lange den Strahl ausspritzen, ohne seine Ergiebigkeit zu messen, bis die Zu- und Abflüsse vollständig regulirt waren, oder bis man sich durch Beobachtung der Pegel überzeugt hatte, dafs das Wasser in dem Bassin weder stieg noch fiel, sondern seine Höhe unverändert behielt. Sobald dieser Zeitpunkt eingetreten war, ging man zur Bestimmung der Wassermenge über, und hierzu diente ein hölzerner Kasten unter dem Ge-

rinne, der 808 Cubikfuſs faſste. Ueber diesem Kasten befand sich im Boden des Gerinnes eine Klappe, bei deren Oeffnung die ganze durchflieſsende Wassermenge in den Kasten stürzte. Oeffnete man also beim Schlage einer bestimmten Secunde die Klappe und schloſs man sie wieder nach Verlauf einer passenden Anzahl von Secunden, so fing man in dem Kasten die ganze Wassermenge auf, die während dieser Zeit vorbeiströmte, oder die in einer gleichen Zeit aus der Oeffnung geflossen war. Die erwähnte Klappe schloſs indessen nicht scharf genug, um ein Durchtröpfeln des Wassers zu verhüten, wodurch schon vorher der Kasten zum Theil gefüllt worden wäre. Man brachte deshalb noch eine zweite leichte Rinne unmittelbar über dem Kasten an, die jedesmal beim Oeffnen und Schlieſsen der Klappe zurückgezogen oder vorgeschoben wurde.

Um endlich die in dem Kasten aufgefangene Wassermenge zu messen, genügte es nicht, nur die Höhe der Füllung zu beobachten, denn man durfte weder eine genau prismatische Form, noch auch eine absolute Steifigkeit der Seitenwände voraussetzen, vielmehr bauchten diese sich aus, sobald Wasser hineinfloſs. Man stellte daher neben dem Kasten ein am Boden mit einem Hahne versehenes Faſs auf, welches 968 Liter oder 845 Quart maaſs. Dieses füllte man wiederholentlich mit Wasser an und entleerte es in den Kasten, bei letzterem wurde aber jedesmal mittelst eines Pegels, der den am Bassin aufgestellten gleich war, die Höhe des Wasserspiegels gemessen, und man konnte sonach auch umgekehrt durch einfaches Ablesen des Pegels den jedesmaligen Inhalt ermitteln. Der Kasten war übrigens am Boden mit einem Hahn versehn, und wurde, so oft nur geringe Wassermengen aufgefangen werden sollten, durch Zwischenwände verkleinert, damit aus der beobachteten Höhe um so sicherer der Inhalt gefunden werden konnte.

Um den Contractions-Coefficient, oder das Verhältniſs der wirklich ausflieſsenden Wassermenge gegen diejenigen zu ermitteln, die man erhalten würde, wenn durch alle Theile der Oeffnung das Wasser mit der Geschwindigkeit durchströmte, die der jedesmaligen Druckhöhe entspricht, so muſs zunächst untersucht werden, ob die Differenz in der Druckhöhe auſser Betracht gelassen werden darf, oder ob sie auf das Resultat einen merklichen Einfluſs behält. Bei sehr kleinen oder niedrigen Oeffnungen ist die im Mittelpunkte derselben stattfindende Druckhöhe als die gemeinschaftliche zu betrachten, und

wenn b die Breite eines horizontalen Abschnittes der Oeffnung, dh die Höhe desselben und h die mittlere Druckhöhe bedeutet, während g wie gewöhnlich den Raum bezeichnet, den ein frei fallender Körper in der ersten Secunde durchläuft, so würde, wenn alle Theilchen frei herabfielen, die Wassermenge oder

$$dM = 2b \,.\, dh \,.\, \sqrt{gh}$$

sein. Der Fall, daſs auch b variabel ist, wie dieses etwa bei kreisförmigen Oeffnungen geschieht, ist hier auſser Betracht geblieben, indem er auf diese Beobachtungen nicht Anwendung findet. Es folgt hiernach

$$M = \tfrac{4}{3} b \,.\, \sqrt{g} \,.\, h \,.\, \sqrt{h} + Const.$$

Nennt man h diejenige Druckhöhe, die dem Mittelpunkte der Oeffnung entspricht, und a die ganze Höhe der Oeffnung, so erhält man

$$M = \tfrac{4}{3} b \sqrt{g} \left[(h + \tfrac{1}{2} a)^{\frac{3}{2}} - (h - \tfrac{1}{2} a)^{\frac{3}{2}} \right]$$

oder

$$M = \tfrac{2}{3} bh \,.\, 2\sqrt{gh} \left[\left(1 + \frac{a}{2h}\right)^{\frac{3}{2}} - \left(1 - \frac{a}{2h}\right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

Wenn die Oeffnung über den Wasserspiegel hinausreicht und letzterer sich in der Höhe H über dem untern Rande der ersteren befindet, so wird

$$M = \tfrac{2}{3} bH \,.\, 2\sqrt{gH}$$

Das heiſst, es wird in diesem Falle der dritte Theil weniger ausflieſsen, als wenn die ganze Oeffnung dem Drucke H ausgesetzt wäre.

Wenn dagegen der obere Rand der Oeffnung unter dem Wasserspiegel liegt, oder wenn

$$\tfrac{1}{2} a < h$$

ist, während h wieder die Höhe bezeichnet, in welcher der Wasserspiegel über dem Mittelpunkte der Oeffnung sich befindet, so kann man leicht den obigen Werth für M in eine stark convergirende Reihe verwandeln. Man erhält nämlich

$$M = ab \,.\, 2\sqrt{gh} \left(1 - \tfrac{1}{96} \cdot \frac{a^2}{h^2} - \tfrac{1}{2048} \cdot \frac{a^4}{h^4} - \ldots \right)$$

Der Factor vor der Parenthese bezeichnet die Wassermenge, welche durch die Oeffnung ausflieſsen würde, wenn die Druckhöhe überall gleich h wäre, und man kann die Reihe in der Parenthese oder den zweiten Factor unbedenklich gleich Eins setzen, oder die Ver-

schiedenheit des Druckes vernachlässigen, sobald $\frac{a}{h}$ ein kleiner Bruch ist. Selbst wenn $a = \frac{1}{2}h$ wäre, oder der Wasserspiegel nur um die anderthalbmalige Höhe der Oeffnung über dem obern Rande derselben läge, so würde der Fehler, den man durch Vernachlässigung der folgenden Glieder begeht, nur etwa $\frac{1}{4}$ Procent betragen. Hiernach ist in den nachstehend mitgetheilten Resultaten die Aenderung des Druckes nur bei den Poncelet'schen Beobachtungen und denen, die an Schleusenschützen angestellt sind, berücksichtigt worden.

Die folgenden Mittheilungen sind grofsentheils aus dem Werke von d'Aubuisson *) entnommen, doch sind die Dimensionen der Oeffnungen und die Druckhöhen über den Mittelpunkten auf Rheinländisches Maafs reducirt.

A. Kreisförmige Oeffnungen.

Beobachter	Durchmesser	Druckhöhe	Contractions-Coefficient
1) Mariotte	3,1 Linien	5,69 Fufs	0,692
2) Derselbe	3,1 „	25,17 „	0,692
3) Castel	4,6 „	0,16 „	0,673
4) Derselbe	4,6 „	0,99 „	0,654
5) Derselbe	6,9 „	0,44 „	0,632
6) Derselbe	6,9 „	0,96 „	0,617
7) Eytelwein	1 Zoll	2,35 „	0,618
8) Bossut	1,04 „	4,14 „	0,619
9) Michelotti	1,04 „	7,10 „	0,618
10) Castel	1,15 „	0,53 „	0,629
11) Weisbach	1,51 „	1,78 „	0,606
12) Venturi	1,57 „	2,80 „	0,622
13) Bossut	2,06 „	12,14 „	0,618
14) Michelotti	2,06 „	7,01 „	0,607
15) Derselbe	3,10 „	7,14 „	0,613
16) Derselbe	3,10 „	12,14 „	0,612
17) Derselbe	3,10 „	21,54 „	0,597
18) Derselbe	6,20 „	6,72 „	0,619
19) Derselbe	6,20 „	11,66 „	0,619

*) *Traité d'hydraulique à l'usage des Ingénieurs par J. E. d'Aubuisson de Voisins.*

B. Quadratische Oeffnungen.

Beobachter	Seite des Quadrats	Druckhöhe	Contractions-Coefficient
1) Castel	4,6 Linien	0,16 Fufs	0,655
2) Bossut	1,03 Zoll	12,14 „	0,616
3) Michelotti	1,03 „	12,14 „	0,607
4) Derselbe	1,03 „	21,76 „	0,606
5) Bossut	2,06 „	12,14 „	0,618
6) Michelotti	2,06 „	7,14 „	0,603
7) Derselbe	2,06 „	12,20 „	0,603
8) Derselbe	2,06 „	21,60 „	0,602
9) Derselbe	3,13 „	7,20 „	0,616
10) Derselbe	3,10 „	12,20 „	0,619
11) Derselbe	3,10 „	21,73 „	0,616

C. Rechteckige breite Oeffnungen.

Beobachter	Höhe der Oeffnung	Breite der Oeffnung	Druckhöhe	Contractions-Coefficient
1) Bidone . . .	0,35 Zoll	0,75 Zoll	1,05 Fufs	0,620
2) Derselbe . . .	0,35 „	1,41 „	1,05 „	0,620
3) Derselbe . . .	0,35 „	2,82 „	1,05 „	0,621
4) Derselbe . . .	0,35 „	5,65 „	1,05 „	0,626
5) Weisbach . .	0,96 „	1,93 „	0,76 „	0,657
6) Derselbe . . .	0,96 „	1,93 „	1,78 „	0,614

D. Beobachtungen von Poncelet und Lesbros an rechteckigen Oeffnungen von 7,647 Zoll Breite.

Höhe der Oeffnung	Contractions-Coefficienten für verschiedene Wasserstände über dem obern Rande der Oeffnung			
Zolle	zwischen 5 Fufs u. 2 Fufs	zwischen 2 Fufs u. 6 Zoll	zwischen 6 Zoll u. 2 Zoll	unter 2 Zoll
7,646	0,603	0,602	0,599	0,593
3,823	0,613	0,617	0,613	0,611
1,912	0,619	0,629	0,630	0,624
1,147	0,624	0,632	nicht beobachtet	0,643
0,764	0,625	0,642	0,656	0,667
0,382	0,623	0,649	0,679	0,702

In Bezug auf die letzte Tabelle, welche die Poncelet'schen Resultate enthält, ist zu bemerken, dafs die angeführten Werthe der Contractions - Coefficienten grofsentheils Mittelzahlen aus mehreren Beobachtungen sind, die innerhalb derjenigen Grenzen des Wasserstandes angestellt wurden, welche die Ueberschriften der einzelnen Spalten bezeichnen. Dabei ist die unmittelbar über der Oeffnung eintretende Senkung des Niveau's nicht berücksichtigt, sondern die Druckhöhe ist vielmehr aus dem Wasserstande hergeleitet, den der zweite in 13 Fufs Entfernung aufgestellte Pegel bezeichnete. Wenn man die Senkung des Wasserspiegels berücksichtigt, wie Poncelet gethan hat, so findet man weit gröfsere Anomalien, und bei den kleinsten Wasserständen steigern sich alsdann die Werthe der Coefficienten bis gegen 0,8. Die Contractions - Coefficienten sind aber in der Art berechnet, dafs die wirklich ausfliefsenden Wassermengen mit denjenigen verglichen wurden, welche man erhalten würde, wenn durch jeden horizontalen Schnitt der Oeffnung das Wasser ohne Contraction nach Maafsgabe des darüber stattfindenden Druckes ausströmte. Endlich ist noch zu bemerken, dafs hier nur diejenigen Beobachtungen berücksichtigt sind, die im Jahre 1828 angestellt wurden, indem die im vorhergehenden Sommer gemachten Beobachtungen weniger vollständig aufgezeichnet waren.

Schliefslich erwähne ich noch einer Beobachtung, die ich einst an der neueren Schleuse zu Mühlheim an der Ruhr anstellte. Während die Unterthore und deren Schütze geschlossen waren, liefs ich die Kammer durch ein Schütz in einem Oberthore füllen. Die Oeffnung hielt 9,03 Quadratfufs. Die Kammer ist 18 Fufs breit, und bis zum Abfallboden nahe 140 Fufs lang, wegen der Neigung des letztern ist der horizontale Querschnitt der Kammer in verschiedenen Höhen verschieden. Der Stand des Oberwassers über dem obern Rande der Schütz-Oeffnung betrug 8 Zoll 11 Linien, senkte sich jedoch während der Strömung unmittelbar vor den Thoren um 1¼ Zoll. An einem in der Kammer aufgestellten Maafsstabe wurde das Steigen des Wassers von 6 zu 6 Zoll beobachtet, bis dasselbe den untern Rand der Durchflufs-Oeffnung erreichte. Die Rechnung ergab aus 10 einzelnen Beobachtungen den Werth des Contractions-Coefficient zwischen 0,57 und 0,63, im Mittel aber 0,604. Die bedeutenden Abweichungen rührten augenscheinlich von der heftigen Strömung in der Schleusenkammer her, wobei das Wasser periodisch vor dem

Maafsstabe immer mehrere Zolle hoch anschwoll, und alsdann wieder sich senkte. Diese Unsicherheit der einzelnen Messungen hatte aber auf die ganze Beobachtung oder den angegebenen mittleren Werth nur geringen Einflufs, und die Uebereinstimmung desselben mit dem von Poncelet bei der gröfsten Oeffnung und der gröfsten Druckhöhe gefundenen Coefficienten verdient bemerkt zu werden. Im Oberwasser bildete sich während der Beobachtung eine lebhafte Strömung, welche eine geringe Senkung des Wasserspiegels vor der Durchflufs-Oeffnung veranlafste. Dieselbe ist in der Rechnung nicht berücksichtigt, da sie ungefähr der Geschwindigkeit entsprechen mufste, die das Wasser schon vor dem Eintritt in die Oeffnung hatte.

Die angeführten sämmtlichen Beobachtungen zeigen eine gewisse Uebereinstimmung der Werthe des Contractions-Coefficienten. Derselbe scheint zu wachsen, wenn das Verhältnifs der Druckhöhe zur Höhe der Oeffnung zunimmt. Für die in der Praxis vorkommenden Fälle, wo grofse Oeffnungen und verhältnifsmäfsig kleine Druckhöhen sich am häufigsten wiederholen, dürfte der Coefficient gleich 0,61 anzuwenden sein. Lesbros hat versucht, die Abhängigkeit des Coefficienten von der Druckhöhe und der Weite der Oeffnung aus seinen Beobachtungen nachzuweisen, doch bestätigt sich das in dieser Beziehung gefundene Resultat nicht durch die übrigen Messungen. Erwähnung verdient noch, dafs kreisförmige und quadratische Oeffnungen unter übrigens gleichen Umständen, beinahe dieselbe Contraction zeigen, bei sehr flachen Strahlen nimmt dagegen der Contractions-Coefficient merklich zu.

Im Vorstehenden war nur von dem Falle die Rede, dafs der Strahl frei austritt, und die ganze Ausflufs-Oeffnung füllt. Es bleibt daher noch zu untersuchen, ob die Resultate sich wesentlich ändern, wenn der Strahl entweder in ein zweites mit Wasser gefülltes Gefäfs fliefst, oder wenn über ihm die Oeffnung nicht geschlossen ist.

Wenn die Oeffnung sich in einer Zwischenwand zwischen zwei Gefäfsen befindet, die beide bis über den obern Rand der Oeffnung gefüllt sind, so ist die Druckhöhe gleich der Niveaudifferenz der beiderseitigen Wasserstände, und es ist zu vermuthen, dafs die Durchströmung in gleicher Art erfolgen wird, als wenn unter demselben Drucke der Strahl frei austritt. Ein Unterschied findet nur in sofern statt, als bei dem Ausflufs unter Wasser die obern, wie die untern Schichten demselben Drucke ausgesetzt sind. Vielfache Beob-

achtungen haben in der That gezeigt, dafs durch gleiche Oeffnungen bei gleichem Drucke auch gleiche Wassermengen abfliefsen, und dafs der Umstand, ob der Strahl frei in die Luft oder unter Wasser austritt, keinen Unterschied macht. Besonders wichtig sind in dieser Beziehung die Messungen, die man über die Zeit der Füllung von Schleusenkammern angestellt hat. Die Resultate, welche Eytelwein in Betreff der Füllung der zweiten massiven Schleuse am Bromberger Canale anführt, und welche sich auf zwei verschiedene Höhen des Schützenzuges beziehn, gehören hierher. Wenn man diejenige Angabe vernachlässigt, welche sich auf die vollständige Füllung der Kammer bezieht, die sich nicht scharf beobachten läfst, so folgt aus der ersten Beobachtungsreihe der Contractions-Coefficient gleich 0,613 und aus der letzten 0,636. Die einzelnen Beobachtungen zeigen so grofse Abweichungen, dafs dieser Unterschied der Hauptresultate nicht auffallen darf.

Aehnliche Beobachtungen führen auch Navier (in Belidor's *Science des Ingénieurs*) und d'Aubuisson an, die theils an einer Schleuse des Canal du Midi und theils zu Hâvre angestellt sind. Jene geben den Contractions-Coefficient bei verschiedenen Wiederholungen zwischen 0,594 und 0,647, im Mittel aber 0,625 und diese bei einmaliger Messung gleichfalls 0,625. Es mufs aber bemerkt werden, dafs bei diesen beiden Beobachtungen der Strahl Anfangs noch nicht unter Wasser ausströmte, sondern dieses erst gegen die Mitte jedes Versuches geschah.

Für die unter Wasser ausfliefsenden Strahlen stellt sich demnach der Contractions-Coefficient, soweit die Beobachtungen hierüber ein Urtheil gestatten, ebenso grofs heraus, wie bei denjenigen, welche frei in die Luft treten. Dieses Resultat durfte man auch erwarten, wenn man nicht etwa annehmen wollte, dafs unter starkem Drucke das Wasser an Beweglichkeit verliert. Dafs Letzteres nicht der Fall ist, haben vielfache Beobachtungen bewiesen, und namentlich in neuerer Zeit diejenigen von Darcy, welche zeigen, dafs bei gleichem Ueberdrucke die Röhren noch dieselbe Wassermenge liefern, wenn man auf beiden Seiten die Druckhöhe um 50 Fufs vergröfsert.

Endlich bleibt noch zu untersuchen, welchen Contractions-Coefficient die Beobachtungen ergeben, wenn die Ausflufsöffnung bis über das Oberwasser hinausreicht, also die oberste Schicht des Strahles gar keinem Drucke ausgesetzt ist. Diese Schicht, welche

auf den darunter befindlichen aufliegt, wird augenscheinlich nur von diesen in Bewegung gesetzt. Hieraus erklärt sich die starke Senkung des Wasserspiegels vor der Oeffnung. Wenn man diese unbeachtet läfst, und die Druckhöhe nach dem Niveau in einiger Entfernung vor der Oeffnung bestimmt, so wird dadurch gewissermaafsen eine Ausgleichung veranlafst.

Zur Ermittelung des Contractions-Coefficient für diesen Fall sind wieder vielfache Messungen angestellt. Bidone fand ihn nach drei Beobachtungen gleich 0,607 und aus andern sechs Beobachtungen im Mittel gleich 0,603. D'Aubuisson dagegen im Mittel aus sechs Beobachtungen bei sehr kleinen Wasserständen von 1 bis 2 Zoll gleich 0,617. Die Messungen, welche Eytelwein in seinem Handbuche der Hydraulik anführt, die in einem Bache neben Bromberg vom Bau-Inspector Kypke angestellt wurden, sind

Breite der Oeffnung	Druckhöhe über dem unteren Rande	Contractions-Coefficient
0,500 Fufs	1,250 Fufs	0,632
0,833 „	0,900 „	0,621
1,167 „	0,720 „	0,633
1,500 „	0,596 „	0,640
2,146 „	0,480 „	0,619
3,448 „	0,344 „	0,633

Bei den Bobachtungen von Poncelet und Lesbros war dagegen die Breite der Durchflufsöffnung gleich 7,647 Zoll.

Druckhöhe über d. untern Rande	Contractions-Coefficient
7,95 Zoll	0,583
6,23 „	0,589
3,94 „	0,593
2,33 „	0,600
1,72 „	0,610
0,88 „	0,624

Die Werthe der Contractions-Coefficienten, die Poncelet aus denselben Beobachtungen findet, sind theils gröfser, theils auch weniger übereinstimmend, als die vorstehenden. Er führte indessen die

Rechnung in der Art, dafs er aus den Senkungen des Wasserspiegels in der Oeffnung die gewonnenen lebendigen Kräfte und aus diesen die in Vergleichung gestellten Wassermengen herleitete. Ich habe dagegen, wie auch Eytelwein, die Senkung des Wassserspiegels vor der Oeffnung unbeachtet gelassen und die Rechnung so geführt, als ob bis zur Oeffnung das Niveau des Oberwassers sich fortsetzte.

Nachdem gezeigt worden, dafs die Wassermenge, welche durch die Oeffnung in der Wand eines Gefäfses ausfliefst, nicht so grofs ist, als man nach der Gröfse der Oeffnung und nach der Druckhöhe erwarten sollte, dafs sie vielmehr in einem beinahe constanten Verhältnisse kleiner ausfällt, und nachdem schon früher nachgewiesen ist, dafs die Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers wirklich der jedesmaligen Druckhöhe entspricht, so kann jener Unterschied der Wassermengen nur dadurch erklärt werden, dafs der Strahl an der Stelle, wo er die volle Geschwindigkeit annimmt, einen Querschnitt bildet, der in einem constanten Verhältnisse kleiner, als der Flächeninhalt der Oeffnung ist. Die Beobachtungen zeigen auch sehr deutlich, dafs der Strahl beim Austreten aus der Oeffnung dünner wird, und dieses nicht nur, wenn er herabfällt, wo die Abnahme seines Durchmessers eine Folge der Beschleunigung durch den freien Fall wäre, sondern die Verminderung des Querschnittes hinter der Oeffnung giebt sich auch sehr augenscheinlich zu erkennen, wenn der Strahl horizontal oder aufwärts gerichtet ist.

Bei kreisförmigen Oeffnungen hat man vielfach den Durchmesser des contrahirten Strahles unmittelbar gemessen und dadurch das Verhältnifs zum Durchmesser der Oeffnung bestimmt. Dasselbe stellte sich nach früheren Untersuchungen annähernd auf 0,80 zu 1. Michelotti's genauere Beobachtungen ergaben folgende Resultate.

Druckhöhe	Durchmesser der Oeffnung	kleinster Durchmesser	Abstand des letzten von der Oeffnung
6,7 Fufs	6,209 Zoll	4,902 Zoll	2,45 Zoll
11,7 „	6,209 „	4,894 „	2,45 „
7,1 „	3,104 „	2,439 „	1,22 „
12,1 „	3,104 „	2,432 „	1,19 „
21,5 „	3,104 „	2,344 „	1,15 „

Vernachlässigt man die kleinen Differenzen, die eine Verminderung des kleinsten Durchmessers des Strahles bei zunehmendem Druck zeigen, so nimmt nach den ersten beiden Beobachtungen der Durchmesser des Strahles im Verhältnisse von 6,209 zu 4,898 und nach den drei letzten im Verhältnisse von 3,104 zu 2,405 ab. Hieraus ergeben sich die Coefficienten für die Verminderung der Durchmesser gleich 0,789 und 0,775 und für die Verminderung der Querschnitte gleich 0,622 und 0,601, also nahe übereinstimmend mit den aus der Vergleichung der Wassermengen gefundenen Contractions-Coefficienten.

In der letzten Spalte der vorstehenden Tabelle sind noch die Abstände der stärksten Contraction des Strahles von der Oeffnung angegeben, wiewohl die Bestimmung derselben ziemlich unsicher ist. Der Theil des Strahles, der zunächst der Oeffnung liegt, bildet also einen abgestutzten Kegel, und das Verhältnifs des Durchmessers der Oeffnung zu dem des kleinsten Querschnittes und zum Abstande beider ist

$$1 : 0,78 : 0,39.$$

Wenn die Ausflufsöffnung nicht kreisförmig ist, sondern eine geradlinige Figur bildet, so zeigt sich die auffallende Erscheinung, dafs die Querschnitte des Strahles nicht immer derjenigen der Oeffnung entsprechen, sondern in geringem Abstande von der letztern die vortretenden Kanten sich abstumpfen und weiterhin statt derselben tiefe Furchen sich bilden, wogegen der Strahl in der Mitte der Seiten stark anschwillt. Der Strahl behält indessen auch diese Form nicht lange. Die vortretenden Rippen, die niemals scharfe Kanten bilden, senken sich, während die dazwischen liegenden Flächen anschwellen, und aus ihnen wieder neue Rippen hervortreten, so dafs die Rippen sich in Furchen und umgekehrt die letzteren in Rippen verwandeln. In dieser Weise nimmt der Strahl, so lange er eine zusammenhängende Masse bildet, abwechselnd verschiedene Querschnitte an, indem die stumpfen Kanten sich in hohle Seitenflächen und umgekehrt verwandeln. Bei Strahlen, die aus dreiseitigen Oeffnungen unter starkem Drucke austreten, kann man bis zehn solcher Abwechselungen wahrnehmen.

Die Ursache dieser auffallenden Erscheinung ist allein in der sogenannten Molecular-Attraction, oder in der Spannung der Oberfläche zu suchen. Dieselbe ist bekanntlich umgekehrt dem Krüm-

mungshalbmesser proportional, sie zieht also am stärksten die scharf vortretenden Kanten und Rippen zurück und theilt dadurch der Wassermasse in denselben eine solche Seitenbewegung mit, daſs letztere sich noch fortsetzt, wenn auch die Kraft aufhört und ihr sogar entgegenwirkt.

Am sorgfältigsten haben Poncelet und Lesbros diese Erscheinung beobachtet, indem sie in bestimmten Entfernungen kleine Rahmen um den Strahl anbrachten, von welchen aus scharfe Stahlspitzen bis zur Berührung gegen den Strahl geschroben und dadurch seine Form bestimmt wurde. Diese Messungen sind insofern sehr wichtig, als sie auf manche Umstände hinweisen, die beim freien Ausfluſs des Wassers in Betracht kommen. In Fig. 69 und 70 auf Taf. IV sind die Längen- und Querschnitte zweier Strahlen dargestellt, wie die Messungen sie ergaben. Die Seitenansicht Fig. 69 zeigt einen Strahl, der aus einer quadratischen Oeffnung von 7,647 Zoll Weite unter einem Drucke von 5,353 Fuſs über dem Mittelpunkte der Oeffnung tritt. Die mit *a*, *b*, *c* u. s. w. bezeichneten punktirten Linien weisen die Stellen nach, wo die mit denselben Buchstaben überschriebenen senkrechten Querschnitte gemessen sind. Bei letzteren ist zugleich die Ausfluſs-Oeffnung in der entsprechenden Höhenlage angegeben. Der Einfluſs der Schwere giebt sich durch die Senkung des Strahles schon in dem Profile *d* deutlich zu erkennen, und noch auffallender in allen folgenden.

Die Verfasser haben die Flächeninhalte der sämmtlichen gemessenen Querschnittte und deren Verhältnisse zur Fläche der Oeffnung wie nachstehend gefunden.

Profil	Abstand: Centimeter	Querschnitt: Quadrat-Centimeter	Verhältniſs
—	0,0	400,00	1,000
a	6,4	252,05	0,630
b	11,0	245,12	0,613
c	15,0	237,46	0,594
d	20,0	233,01	0,583
e	25,0	232,04	0,580
f	30,0	225,06	0,563
g	35,0	239,48	0,599
h	40,0	243,62	0,609
i	45,0	244,27	0,615

Die starke Verminderung der Fläche im Profil f gab Veranlassung, die Messung derselben zu wiederholen. Ihr Werth stellte sich dabei auf 226,925 und bei nochmaliger Wiederholung auf 226,848 Quadrat-Centimeter. Das Verhältnifs zur Fläche der Durchflufs-Oeffnung war demnach 0,567. Wenn man die Differenzen der Zahlen in der letzten Spalte vergleicht, so lassen sie ein sehr complicirtes Gesetz vermuthen, und besonders auffallend sind dabei die Unregelmäfsigkeiten, die das Profil f zeigt. Man kann nicht umhin, einigem Verdachte in Bezug auf die Richtigkeit der Messung Raum zu geben, man müfste aber vermuthen, dafs dieses Profil und sonach auch das Verhältnifs desselben gröfser wäre, als es angegeben ist.

Der gegen das Profil f angeregte Zweifel erklärt indessen noch keineswegs die starke Verengung, oder die grofse Geschwindigkeit in allen nächsten Profilen. Diese ist vielmehr die Folge von der Senkung des Strahles, nachdem er die Oeffnung passirt hat. Wegen dieser Senkung sind die vertical gemessenen Profile etwas grösser als die gegen den Strahl normal gerichteten, und da letztere allein die wirkliche Geschwindigkeit bezeichnen, so ist diese sogar noch gröfser, als sie sich nach Poncelet's Rechnung herausstellt. Ich habe aus der mittleren Geschwindigkeit des Strahles in der Oeffnung, wie ihn die Rechnung ergiebt, nämlich 5,7424 Meter und unter der Voraussetzung, dafs die Richtung derselben horizontal sei, die Senkungen für die Abstände 0,15 u. s. w. bis 0,35 also für die Profile c bis g berechnet und daraus die Zunahme der Geschwindigkeit hergeleitet. Ferner habe ich die in der obigen Tabelle angegebenen Flächen der Querprofile auf den normalen Querschnitt reducirt, und gefunden, dafs sie nach Entfernung des Einflusses der Senkung des Strahles in folgenden Verhältnissen zur Durchflufsöffnung stehn:

Profil	c	0,6190
-	d	0,6157
-	e	0,6213
-	f	0,6105
-	g	0,6578

Es ergiebt sich hieraus in Bezug auf das Profil f eine noch auffallendere Anomalie, als aus der früheren Tabelle, dagegen zeigen diese Verhältnisse durchaus nichts, was mit dem Princip der Erhaltung der lebendigen Kräfte im Widerspruch wäre. Der Contractions-Coefficient erreicht vielmehr hiernach noch nicht die früher an-

gegebene Gröfse, und um ihn mit der wirklich erhaltenen Wassermenge in Uebereinstimmung zu bringen, mufs man noch einigen Verlust an lebendiger Kraft voraussetzen.

Fig. 70 zeigt die Seitenansicht und die Querprofile eines Strahles, der durch dieselbe Oeffnung, jedoch bei einem so niedrigen Wasserstande ausfliefst, dafs der obere Rand der Oeffnung nicht benetzt wird. Der untere Rand derselben befindet sich 6,894 Zoll unter dem Spiegel der ungesenkten Wasserfläche. Beim Punkte *A*, in einem Abstande von 11,47 Zoll beginnt die Senkung, und in der Oeffnung selbst beträgt sie schon 7,3 Linien. Das erste Querprofil *a* ist in der Oeffnung gemessen, die folgenden an den Stellen, die in der Seitenansicht mit denselben Buchstaben bezeichnet sind. Diese Profile sind insofern wichtig, als sie zeigen, dafs die oberen Wasserschichten, die keinem starken Drucke ausgesetzt waren, und denen daher durch solchen auch keine grofse Geschwindigkeit mitgetheilt wurde, sich nicht in ihrer Lage erhielten, sondern bald, wie namentlich das Profil *d* zeigt, seitwärts herabflossen.

Es mufs noch erwähnt werden, dafs die Profil-Messungen an beiden Strahlen nicht weiter fortgesetzt werden konnten, weil letztere über diese Grenzen hinaus nicht zusammenhängend blieben, vielmehr einzelne Tropfen sich schon von ihnen ablösten.

Im Vorstehenden sind die Erscheinungen mitgetheilt, welche beim Durchfliefsen des Wassers durch Oeffnungen in dünnen Wänden einteten, und zwar unter der Voraussetzung, dafs der Querschnitt des Gefäfses viel gröfser, als der der Oeffnung ist, oder dafs das Wasser ohne merkliche Geschwindigkeit sich der letzteren nähert. Findet diese Bedingung nicht statt, so ändert sich der Contractions-Coefficient sehr bedeutend nach Maafsgabe der Geschwindigkeit des zuströmenden Wassers. *) Hierauf wird später bei Gelegenheit der Röhrenleitungen zurückgekommen werden. Diejenige Contraction, von der hier die Rede ist, stellt sich aber, wie nachgewiesen worden, beim Wasser unter sehr verschiedenen Umständen immer nahe in gleicher Gröfse heraus, auch für die Luft weicht sie nach andern Beobachtungen nicht wesentlich davon ab, und selbst der Strahl des ausfliefsenden Sandes nimmt in einiger Entfernung unter der hori-

*) Untersuchungen im Gebiete der Mechanik und Hydraulik von J. Weisbach. II. Abtheilung. Leipzig 1843.

zontalen Oeffnung wieder in ähnlichem Verhältnisse einen geringeren Querschnitt an. Die Ursache der Contraction darf man daher weniger in den Eigenschaften der Flüssigkeiten, als in den allgemeinen Gesetzen der Mechanik suchen.

Newton *) erklärte zuerst die Erscheinung, indem er sagte: „die Wassertheilchen treten nicht sämmtlich senkrecht durch die Oeffnung, sondern gehn grofsentheils in schräger Richtung hindurch, indem sie von allen Seiten aus dem Gefäfse zusammenfliefsen und gegen die Oeffnung convergiren. Da sie aber ihre Richtung verändern, und die des ausspritzenden Strahles annehmen müssen, so wird letzterer etwas unterhalb der Oeffnung dünner, als in der Oeffnung selbst."

Newton untersucht die hierbei eintretenden mechanischen Verhältnisse nicht näher, führt aber an, er habe in einem Strahle, der aus einer Oeffnung von $\frac{5}{8}$ Zoll austrat, das Verhältnifs der Durchmesser gleich 25 : 21 also der Flächen gleich 1 : 0,706 gefunden, und macht darauf aufmerksam, dafs dieses mit

$$1 : \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ oder } 1 : 0{,}7071$$

nahe übereinstimmt, woraus folgen würde, dafs die Ergiebigkeit des Strahles eben so grofs wäre, als wenn die Wasserfäden sich senkrecht bewegten, die Druckhöhe aber nur die halbe Gröfse hätte.

Navier **) gelangt zu demselben Resultate, indem er von dem Princip der Erhaltung der lebendigen Kräfte ausgeht, und annimmt, dafs die Wassertheilchen bis unmittelbar vor der Oeffnung sich vollständig in Ruhe befinden, hier aber plötzlich durch einen starken Stofs herausgetrieben werden. Unter dieser Voraussetzung stellt sich allerdings das Verhältnifs zwischen der erlangten Geschwindigkeit und der zur ganzen Druckhöhe gehörigen, wie $1 : \sqrt{2}$ heraus. Man kann diese Erklärung indessen nicht als richtig ansehn, weil nach den obigen Mittheilungen die Geschwindigkeit keine merkliche Verminderung erfährt.

Aufserdem ist die Voraussetzung, dafs die Wassertheilchen in der Oeffnung durch einen plötzlichen Stofs in heftige Bewegung ver-

*) *Philosophiae naturalis principia. Vol. II. Sect. VII. Probl. VIII.*

**) *Résumé des leçons données à l'école des ponts et chaussées. II. Partie.* §. 52.

setzt werden, nicht richtig. In ein gläsernes Gefäfs, dessen Boden die Ausflufs-Oeffnung enthielt, leitete ich mittelst einer feinen Röhre eine gefärbte Flüssigkeit, deren Bewegung nach dem Eintritt in die Wassermasse deutlich wahrgenommen werden konnte. Es ergab sich, dafs der gefärbte Faden, dessen Geschwindigkeit sich aus dem Querschnitte ungefähr beurtheilen liefs, sich anfangs sehr langsam der Oeffnung näherte, sich aber allmälig beschleunigte, und ohne einen plötzlichen Stofs zu erfahren durch die Oeffnung drang. Dabei mufs auch noch bemerkt werden, dafs dieser Faden nirgend eine scharfe Ecke zeigte, sondern wenn er auch zur Seite der Oeffnung dicht über dem Boden seinen Anfang nahm, doch immer eine gekrümmte, nicht aber eine gebrochene Linie bildete.

Eine zweite Erklärung der Contraction, die gleichfalls von Navier herrührt, darf ebenso, wie die von Andern darin eingeführten Modificationen, unbeachtet bleiben, da sie augenscheinlich auf unrichtigen Voraussetzungen beruht, wenn sie gleich den Coefficienten sehr nahe in derselben Gröfse darstellt, den die Beobachtungen ergaben.

Unter allen Versuchen zur theoretischen Begründung des Werthes des Contractions-Coefficienten verdient wohl diejenige vorzugsweise beachtet zu werden, die schon Dubuat*) andeutete. Dieselbe beruht auf Annahmen, die auch nach andern Erscheinungen sehr wahrscheinlich sind, und den allgemeinen Gesetzen der Mechanik nicht widersprechen.

Das Wasser fliefst nicht durch alle Theile der Oeffnung mit gleicher Geschwindigkeit. Vielfache Erfahrungen zeigen nämlich, dafs das bewegte Wasser die ruhenden Wassertheilchen, die es berührt, mit sich fortreifst. Ebenso werden auch die bewegten Theilchen durch die ruhenden zurückgehalten, und so geschieht es, dafs die gröfste Geschwindigkeit in dem Mittelpunkte der Oeffnung sich bildet, während von hier ab die Wasserfäden rings umher sich immer langsamer bewegen und unmittelbar neben dem Rande an der Bewegung gar nicht Theil nehmen. Diese Abnahme der Geschwindigkeit des Wassers bedingt aber keineswegs eine Verminderung der lebendigen Kraft, wie dieses der Fall wäre, wenn eine bereits erzeugte Geschwindigkeit durch Reibung zerstört würde. Eben so

---

*) *Principes d'Hydraulique.* I. §. 5.

wenig wie ein Verlust an lebendiger Kraft dadurch entsteht, dafs die übrigen Theile der Waud gar kein Durchfliefsen gestatten, oder die Geschwindigkeit daselbst gleich Null ist, so tritt ein solcher auch hier nicht ein, wo die Nähe der Wand nur die Bildung einer mäfsigeren Geschwindigkeit erlaubt. Sodann bewegen sich die einzelnen Wassertheilchen convergirend gegen den Mittelpunkt der Oeffnung, und indem sie sich hier weder kreuzen noch durchdringen, so müssen sie parallel zur Achse des Strahls sich weiter bewegen. Hieraus entsteht ein vermehrter Druck gegen die mittleren Fäden und sonach eine gröfsere Geschwindigkeit derselben. Auf diese Art kann die Geschwindigkeit des mittleren Fadens gröfser werden, als diejenige, welche ihm nach Maafsgabe des Wasserstandes über der Oeffnung zukommt. Es schliefst aber durchaus keinen Widerspruch in sich, wenn bei der Bewegung eines Systems von Körpern einzelne derselben eine gröfsere Geschwindigkeit annehmen, als die, welche ihrer Fallhöhe entspricht, insofern andre den betreffenden Verlust tragen. Läfst man z. B. einen Wassertropfen aus der Höhe von 4 Zoll in eine Schale mit Wasser fallen, so spritzen häufig einige kleine Tröpfchen bis 8 Zoll hoch und noch darüber. Es wird also in diesem Falle eine Geschwindigkeit erzeugt, die gröfser ist, als sie bei der Fallhöhe sein sollte, aber nur ein kleiner Theil der herabgefallenen Masse nimmt diese Geschwindigkeit an.

Die Geschwindigkeit des Wassers ist sonach während des Durchganges durch die Oeffnung sehr verschieden. Am Rande der letzteren ist sie nämlich gleich Null, sie vergröfsert sich in den Fäden, die der Mitte näher liegen und erreicht in allmähligen Uebergängen in der Achse des Strahles ihr Maximum. Die ganze lebendige Kraft des austretenden Strahles mufs aber, insofern von jeder Reibung abgesehn wird, derjenigen gleich sein, welche das Wasser im Gefäfse durch seine Senkung erzeugt.

Unter diesen Voraussetzungen tritt in jeder Zeiteinheit ein Wasserkegel aus der Oeffnung hervor, der letztere zur Basis hat und dessen Höhe der Geschwindigkeit des mittleren Fadens gleichkommt. Der Einfachheit wegen nehme ich an, dafs die Oeffnung kreisförmig ist, und setze den Radius der Oeffnung gleich ϱ und die Geschwindigkeit des mittleren Fadens gleich c, alsdann ist die Geschwindigkeit im Abstande r vom Rande

$$v = \frac{r}{\varrho} c$$

Bezeichnet nun M die Wassermenge, die in der Zeiteinheit austritt, und L die lebendige Kraft derselben, so hat man für den dünnen Ring im Abstande r vom Rande

$$dM = 2(\varrho - r) \frac{r}{\varrho} dr . c\pi$$

$$\text{und } dL = 2(\varrho - r) \left(\frac{r}{\varrho}\right)^3 dr . c^3\pi$$

Beides integrirt in den Grenzen

von $r = o$

bis $r = \varrho$

giebt $M = \frac{1}{3} \varrho^2 \pi c$

und $L = \frac{1}{10} \varrho^2 \pi c^3$

Die verschiedenen Geschwindigkeiten der austretenden Wasserfäden gleichen sich aber nach dem Austritt aus der Oeffnung bald aus, indem der Strahl sich nunmehr ganz frei bewegt. Die mittleren Fäden werden daher von den äufsern zurückgehalten und diese von jenen beschleunigt. Nach dieser Ausgleichung sei die gemeinschaftliche Geschwindigkeit gleich $\varkappa$ und der Halbmesser des Wasserstrahles verwandle sich nunmehr in R, so hat man

$$M = R^2 \pi . \varkappa$$

$$L = R^2 \pi . \varkappa^3$$

Setzt man die beiden Ausdrücke für M einander gleich und ebenso die beiden für L, so findet man

$$\varkappa = c . \sqrt{0,3}$$

$$\text{und } R^2 = 0,6086 . \varrho^2$$

Der letzte Zahlen-Coefficient bezeichnet das Verhältnifs, in welchem der Flächeninhalt der Oeffnung verkleinert werden mufs, wenn man mit Berücksichtigung der jedesmaligen Druckhöhe die ausfliefsende Wassermenge finden will, und dieses stimmt in der That mit dem beobachteten nahe überein. Man überzeugt sich übrigens leicht, dafs, wenn kein Verlust an lebendiger Kraft eintritt, $\varkappa$ nichts anderes sein kann, als die der Druckhöhe des Wassers entsprechende Geschwindigkeit, und sonach ist die Geschwindigkeit des mittleren Fadens beim Austritt aus der Oeffnung

$$c = 1,8258 . \varkappa$$

das heifst, um fünf Sechstheile gröfser, als sie beim freien Herab-

fallen der Wassertheilchen vom Wasserspiegel bis zur Oeffnung sein würde.

Die vorstehende Herleitung bezieht sich nur auf die Erscheinung im Allgemeinen, läfst aber alle Einzelheiten unberührt, die ohne Zweifel manche Modificationen veranlassen. Schon eine andere Form der Oeffnung dürfte eine geringe Aenderung des Contractions-Coefficienten zur Folge haben. Besonders wichtig ist aber der Einflufs, den auf denselben die Gestaltung des Behälters in der Nähe der Oeffnung ausübt, indem dadurch der Zutritt des Wassers von der Seite bedingt wird. Wenn nämlich die Ausflufsöffnung sich nicht in einer ebenen Fläche und in hinreichendem Abstande von den Seitenwänden befindet, so vergröfsert oder vermindert sich der Coefficient. Das erste geschieht, sobald eine oder mehrere Wände sich sehr nahe an der Oeffnung befinden, oder dieselbe seitwärts berühren. Wenn dagegen die Oeffnung durch eine Röhre in das Innere des Behälters verlegt wird, so vermindert sich die ausfliefsende Wassermenge. Borda's Versuche zeigen, dafs bei der letzten Anordnung der Contractions-Coefficient bis auf 0,515 verringert werden kann. Man mufs dabei aber vermeiden, dafs der Strahl die Wände der Röhre berührt, denn sonst wirkt letztere, wie eine Ansatzröhre, und vergröfsert die Ergiebigkeit der Oeffnung.

§. 15.

Ausflufs des Wassers durch Ansatzröhren.

Wenn der Ausflufs durch sehr kurze Röhren erfolgt, deren Länge nur wenig gröfser ist, als ihr lichter Durchmesser, oder durch sogenannte Ansatzröhren, so zeigen die austretenden Strahlen manche auffallende Unterschiede gegen diejenigen, die sich in der Oeffnung einer dünnen Wand bilden.

In die verticale und ebene Wand eines Blechgefäfses, das etwa 3 Zoll weit und 9 Zoll hoch war, schnitt ich ohnfern des Bodens eine Oeffnung von 1 Zoll Breite und $\frac{1}{4}$ Zoll Höhe ein, und löthete in diese eine Messingplatte, worin sich zwei gleiche kreisförmige Oeffnungen befanden, von denen die eine in dünner Wand eingeschnitten, und die andre mit kurzer Ansatzröhre versehn war. So-

bald ich das Gefäfs mit Wasser füllte, stellten sich beide Strahlen nebeneinander dar. Sie unterschieden sich in dreifacher Beziehung.

1) Der Strahl aus der Oeffnung in der dünnen Wand hatte einen geringeren Querschnitt, als der aus der Ansatzröhre.
2) Der erste wurde in gleichem Abstande viel weniger, als der letzte, durch die Schwere herabgezogen. Das Wasser in ihm hatte also eine gröfsere Geschwindigkeit angenommen.
3) Das äufsere Ansehn beider Strahlen war auffallend verschieden. Der Strahl aus der Oeffnung in der dünnen Wand glich einem geschliffenen Glasstabe, alle Gegenstände spiegelten sich darin und er zeigte keine Bewegung. Der Strahl aus der Ansatzröhre hatte dagegen ein mattes Ansehn und eine trübe Färbung, seine Oberfläche war fein gefurcht, und indem die Furchen wie kleine Wellen ihre Stellung fortwährend veränderten, so entstand ein flimmernder Glanz auf demselben. Doch nicht allein diese Bewegungen unterscheiden ihn von dem ersteren, sondern aufserdem war er einem starken Schwanken ausgesetzt, welches in sehr kurzen Perioden sich wiederholte. Sobald aber der Wasserstand im Gefafse sich bis auf einige Linien über den Oeffnungen vermindert hatte, verschwanden die Eigenthümlichkeiten des zweiten Strahles und er nahm das Ansehn des ersteren an.

Die beiden ersten Unterschiede sind schon oft bemerkt worden, man hat auch die Wassermengen, welche durch cylindrische Ansatzröhren abgeführt werden, durch vielfache Beobachtungen zu ermitteln gesucht. Wählt man zur Vergleichung wieder diejenige Wassermenge, welche abfliefsen würde, wenn keine Contraction des Strahles einträte, so ist das Verhältnifs durchschnittlich, wie 1 zu 0,82. Der Werth dieses Contractions-Coefficienten schwankt nach den verschiedenen Beobachtungen zwischen 0,80 und 0,83. Wenn hierin eine gröfsere Uebereinstimmung, als in den Beobachtungen über den Ausflufs durch Oeffnungen in einer dünnen Wand zu liegen scheint, so rührt dieses wohl davon her, dafs diese Beobachtungen minder zahlreich und nur in kleinem Maafsstabe ausgeführt wurden. Später hat sich besonders Castel, Ingenieur der Wasserwerke zu Toulouse, mit Beobachtungen über Ansatzröhren beschäftigt, und nicht nur die Wassermengen, sondern auch die Geschwindigkeiten untersucht, womit der Strahl ausfliefst. Nach den im Jahre 1837 zu Toulouse

angestellten Beobachtungen *) gab eine cylindrische Röhre von 7,1 Linien Weite und 18,4 Linien Länge unter Druckhöhen von 8 Zoll bis 10 Fufs, nach sechs verschiedenen Beobachtungen das Verhältnifs der Wassermengen sehr übereinstimmend 0,829 und die Form des Bogens, welche der Strahl beschrieb, zeigte, dafs die Geschwindigkeit sich zu derjenigen, die der Druckhöhe entsprach, wie 0,826 bis 0,833 oder im Mittel wieder wie 0,829 : 1 verhielt. Es ergiebt sich hieraus, dafs in diesem Falle keine eigentliche Contraction stattfindet, der Durchmesser des Strahles vielmehr mit dem der Oeffnung übereinstimmt, und die geringere Ergiebigkeit der Oeffnung allein von der Verringerung der Geschwindigkeit herrührt.

Fragt man, woher die Ansatzröhre die ausfliefsende Wassermenge vermehrt und deren Geschwindigkeit vermindert, so läfst sich wohl eine Erklärung dafür geben, doch ist es bis jetzt nicht gelungen, den Zahlenwerth des Coefficienten durch Rechnung zu begründen. Das Wasser haftet bekanntlich an den Metallen, woraus man die Röhren darstellt. Es haftet aber auch an der umgebenden Luft, und der Wasserstrahl reifst letztere mit Heftigkeit mit sich, wie man dieses bei Wasserfällen und starken springenden Strahlen wahrnehmen kann. Wird nun die Oeffnung in der dünnen Wand mit einer Ansatzröhre versehn, die sehr kurz ist und noch nicht ihren innern Durchmesser zur Länge hat, so berührt der Strahl gar nicht die Röhre und tritt in gleicher Art, wie aus einer Oeffnung in dünner Wand heraus. Sobald aber die Röhre an Länge zunimmt, oder auch wenn die Geschwindigkeit sehr geringe wird, so berührt der Strahl an irgend einer Stelle die Röhre und sogleich haftet er daran. Die Berührung dehnt sich aber weiter aus, während die Luft, die früher zwischen dem Strahle und der Röhrenwand befindlich war, von ersterem herausgeführt wird und sich nicht mehr ersetzt, weil alle Zugänge gesperrt sind. Auf solche Art ist der Druck der Luft eine zweite Veranlassung, um die Ansatzröhre vollständig mit Wasser zu füllen. Die Wasssertheilchen, welche in die Oeffnung treten, können sich alsdann nicht mehr wie früher überwiegend in der Mitte anhäufen und hier die grofse Geschwindigkeit erzeugen, weil sonst die Röhre am Rande leer bleiben würde. Es erfolgt also eine gleichmäfsigere Vertheilung der Wassermasse über die ganze Fläche der

*) Mitgetheilt in den *Annales des Mines. Tome XIV.* Sept. u. Oct. 1838.

Oeffnung, als früher, und die lebendige Kraft, welche die zutretenden Wassertheilchen haben, wird weniger auf die Bildung der starken Geschwindigkeit des mittleren Fadens verwandt, als auf die Vergröſserung der bewegten Masse. Auffallend ist es, daſs die lebendige Kraft des aus der Oeffnung in der dünnen Wand tretenden Strahles ziemlich nahe gleich ist der lebendigen Kraft des, durch die gleich weite Ansatzröhre flieſsenden Strahles, während die Wassermengen sich nahe wie 3 zu 4 verhalten.

Wichtig sind noch andre Erscheinungen an den Ausatzröhren. Venturi versah die Ansatzröhre mit feinen Seitenöffnungen, durch diese floſs aber nicht Wasser ab, vielmehr drang Luft hinein. Der Strahl löste sich alsdann von den Wänden und nahm die Eigenschaften des aus der Oeffnung in dünner Wand austretenden Strahles an. Man hat diesen Versuch auch unter dem Recipienten der Luftpumpe wiederholt, dabei jedoch im Allgemeinen keine Aenderung wahrgenommen, und nur in einzelnen Fällen, wo die Ansatzröhre besonders kurz war, schien der Strahl zur Füllung der ganzen Röhre weniger geneigt zu sein, als unter dem gewöhnlichen Luftdrucke. Ueberraschend ist noch die Erscheinung, die schon Daniel Bernoulli bemerkte, daſs nämlich durch eine abwärts gekehrte Seitenröhre, welche in die Ansatzröhre an derjenigen Stelle einmündet, wo der freie Strahl die stärkste Contraction erfährt, kein Wasser ausflieſst, vielmehr aus einem darunter befindlichen Gefäſse Wasser aufgesogen wird.

Die Ansatzröhren haben oft andere Formen, als die cylindrische, und namentlich die Gestalt von Kegeln oder Pyramiden, die in der Richtung des Strahles sich verengen, oder erweitern. Den ersten Fall hat besonders Castel sehr ausführlich untersucht. Wenn der Winkel der Convergenz der gegenüberstehenden Seiten sich von 0 Grad bis 180 Grad verändert, so kann man sowol die Oeffnung in der dünnen Wand, als auch die cylindische Ansatzröhre als äuſserste Grenzen der conischen Ansatzröhren betrachten.

Castel benutzte in der That eine Reihe von conischen Ansatzröhren, die verschieden convergirten, und bestimmte sowol die ausflieſsenden Wassermengen, als auch die Geschwindigkeiten, und zwar wurden die letzteren aus der Form der Parabel hergeleitet, welche der Strahl beschrieb, sie bezogen sich aber auf den kleinsten oder den äuſsersten Querschnitt der Ansatzröhre. Auf diese Art stellte

er zwei Coefficienten, einen für die Wassermenge und einen für die Geschwindigkeit dar, durch Division des ersten durch den zweiten ergab sich aber noch ein dritter Coefficient, nämlich der der Contraction. *) Bei diesen Ansatzröhren, deren Durchmesser an der engsten Stelle jedesmal 7,1 Linie und deren Länge 18,4 Linien betrug, wurden als Mittelzahlen von 5 und 6 Beobachtungen, die bei abwechselndem Drucke von 8 Zoll bis 10 Fufs angestellt waren, für die verschiedenen Convergenzwinkel die folgenden Coefficienten gefunden:

Convergenzwinkel	Coefficient der		
	Wassermenge	Geschwindigkeit	Contraction.
0° 0′	0,829	0,829	1,00
1° 36′	0,866	0,867	1,00
3° 10′	0,895	0,894	1,00
4° 10′	0,912	0,910	1,00
5° 26′	0,924	0,919	1,00
7° 52′	0,930	0,932	1,00
8° 58′	0,934	0,942	0,99
10° 20′	0,938	0,951	0,99
12° 4′	0,942	0,955	0,99
13° 24′	0,946	0,963	0,98
14° 28′	0,941	0,966	0,97
16° 36′	0,938	0,971	0,97
19° 28′	0,924	0,970	0,96
21° 0′	0,919	0,972	0,95
23° 0′	0,914	0,974	0,94
29° 58′	0,895	0,975	0,92
40° 20′	0,870	0,980	0,89
48° 50′	0,847	0,984	0,86

Castel theilt noch andere Beobachtungen mit, die sich auf Ansatzröhren von verschiedener Weite und verschiedener Länge beziehn. Ich übergehe dieselben, da sie nicht genügen, um das Gesetz genauer zu verfolgen, welches sich hiernach schon im Allgemeinen herausstellt. Man bemerkt, dafs der Coefficient der Geschwindigkeit

*) Diese Beobachtungen sind in den *Annales des Mines 1833* mitgetheilt.

bei zunehmender Convergenz wächst und der der Contraction abnimmt. Durch Verbindung beider erhält man den Coefficient der Wassermenge, der, soweit sich dieses aus der Tabelle beurtheilen läſst, etwa bei 13 Graden sein Maximum erreicht.

Es giebt noch einige Beobachtungen, die über die conischen oder vielmehr pyramidalen Ansatzröhren im Groſsen angestellt sind. Bei den im südlichen Frankreich seit langer Zeit üblichen horizontalen Mühlrädern wird nämlich der Wasserstrahl durch eine pyramidale Zuleitungsröhre auf die Schaufeln des Rades geführt. Der Ingenieur Lespinasse untersuchte eine solche Röhre, sie war 9 Fuſs 4 Zoll lang und ihr oblonger Querschnitt maaſs neben der Einfluſsmündung in den Seiten 27,9 und 37,3 Zoll, dagegen in der Ausfluſsmündung 5,2 und 7,2 Zoll. Die Seiten convergirten also in Winkeln von $11\frac{1}{3}$ und $15\frac{1}{2}$ Graden. Die Druckhöhe betrug 9 Fuſs 4 Zoll. Es ergaben sich aus drei Beobachtungen die Coefficienten der Wassermenge

0,987 0,976 und 0,979.

Es war also der Erfolg noch günstiger, als man nach den Castelschen Beobachtungen erwarten sollte, und es ist bemerkenswerth, daſs man durch die ziemlich rohe Praxis dieses Mühlenbaues auf den vortheilhaftesten Convergenzwinkel geführt worden ist.

Endlich können die Ansatzröhren auch divergirend sein, d. h. sie können abgestutzte Kegel bilden, deren engere Oeffnung die Einfluſsmündung und deren weitere Oeffnung die Ausfluſsmündung ist. Mittelst dieser kann man den gröſsten Coefficient der Wassermenge darstellen, wenn man das engste Profil, also die Einfluſsmündung als Querschnitt des in Vergleich gestellten Cylinders ansieht. Für die Oeffnung in der dünnen Wand war der Coefficient gleich 0,61, für die cylindrische Ansatzröhre 0,82, für die divergirende conische Ansatzröhre wird er gröſser als Eins und nach den Beobachtungen von Venturi und Eytelwein wächst er bis $1\frac{1}{2}$ und sogar bis $1\frac{1}{2}$. Letzteres geschieht, wenn man eine convergirende conische Ansatzröhre von der Form des contrahirten Strahles unmittelbar davor anbringt und der divergirenden Ansatzröhre den neunfachen Durchmesser des kleinsten Querschnittes zur Länge giebt und ihre Seiten unter einem Winkel von 5° 6′ gegen einander neigt. In die näheren Details dieser Beobachtungen einzugehn scheint überflüssig, da eine Anwendung derselben kaum denkbar ist.

Es muſs hierbei noch bemerkt werden, daſs die in dem engsten Profile der zuletzt erwähnten Ansatzröhre erzeugte sehr groſse Geschwindigkeit keineswegs mit den allgemeinen dynamischen Gesetzen in Widerspruch steht. Dieses würde nur der Fall sein, wenn das Wasser mit dieser Geschwindigkeit frei ausströmte, was jedoch keineswegs geschieht. Die ganze Wassermenge, die sich auf einmal in der Röhre befindet, ist als ein zusammenhängendes System von Körpern zu betrachten, welches gegenseitig seine Geschwindigkeit bedingt. Ist die mittlere Geschwindigkeit im engsten Profile gleich 1, so beträgt sie bei der angegebenen Gestalt der divergirenden Röhre in der Ausfluſsmündung noch nicht $\frac{1}{4}$, oder die Geschwindigkeit, womit das Wasser ausspritzt, ist nur etwa die Hälfte von der, die es beim freien Falle von der ganzen Druckhöhe erlangen würde. Die lebendige Kraft wird also nicht vergröſsert, sondern im Gegentheil sehr bedeutend vermindert. Es muſs aber noch darauf aufmerksam gemacht werden, daſs in diesem Falle nahe dieselbe Erscheinung durch die Beobachtung sicher festgestellt ist, die bei der Erklärung der Contraction des aus dünner Wand austretenden Strahles vorausgesetzt wurde, daſs nämlich einzelne Theile der bewegten Wassermasse oder des Strahles eine gröſsere Geschwindigkeit annehmen, als diejenige ist, die sie beim freien Herabfallen vom Niveau des Druckwassers erhalten konnten.

§. 16.

Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Wenn eine längere, vollständig mit Wasser gefüllte cylindrische Röhre aus einem weiteren Bassin gespeist wird, so ist der erste Theil derselben nichts anderes, als eine Ansatzröhre. In diesem bildet sich die Geschwindigkeit, die, in der Richtung der Röhre gemessen, sich unverändert durch die ganze Leitung fortsetzt, weil eben sowol die Querschnitte, wie auch die Wassermengen, welche durch diese hindurchflieſsen, dieselben sind. Letzteres ist die nothwendige Folge theils von dem Mangel an merklicher Comprimirbarkeit des Wassers, und theils von dem Drucke der äuſsern Luft, der die Bildung leerer Räume in der Röhre nicht

gestattet. Diese constante Geschwindigkeit in der ganzen Ausdehnung der cylindrischen Leitung bezieht sich aber keineswegs auf alle darin befindlichen Wassertheilchen, nur die mittlere Geschwindigkeit in jedem Querschnitt, und zwar in der Richtung der Röhre gemessen, bleibt überall dieselbe. Sie ändert sich auch bei fortgesetztem Durchflusse nicht, wenn die Druckhöhe constant ist. Unter Druckhöhe versteht man aber die Niveau-Differenz zwischen Ober- und Unterwasser, oder wenn der Strahl nicht unter Wasser austritt, zwischen dem Oberwasser und dem Mittelpunkte der Ausflufsmündung.

Ein Theil dieser Druckhöhe wird verwendet, um dem Wasser, welches gewöhnlich sich vorher in Ruhe befand, die Geschwindigkeit mitzutheilen, während der andre die Widerstände in der Leitung überwindet. Man unterscheidet daher die Geschwindigkeits-Höhe und die Widerstands-Höhe, die zusammen die Druckhöhe darstellen. Was die erstere betrifft, so ergeben die Beobachtungen bei engen Röhren, und zwar bei mäfsigen Geschwindigkeiten, dafs dieselbe mit dem oben (§. 15.) hergeleiteten Contractions-Coefficienten der cylindrischen Ansatzröhren übereinstimmt. Bei längeren Leitungen ist aber die Geschwindigkeits-Höhe vergleichungsweise zur Widerstands-Höhe unmerklich klein, und kann daher ohne Nachtheil unbeachtet bleiben, wie dieses in Frankreich auch üblich ist.

Man sollte vermuthen, dafs die Bewegung des Wassers in cylindrischen Röhren, als eine der einfachsten hydraulischen Erscheinungen, leicht zu verfolgen, und daher die Gesetze, denen sie unterworfen ist, eben so leicht nachzuweisen sein müfsten. Bei sehr engen Röhren und mäfsigen Geschwindigkeiten ist dieses allerdings der Fall, aber keineswegs bei weiteren Röhren.

In dieser Untersuchung mufs auch die Neigung der Röhre gegen den Horizont berücksichtigt werden. Zuerst mag von solchen Leitungen die Rede sein, die ganz oder doch nahe horizontal verlegt sind. Der Druck, der in der ganzen Länge derselben die Widerstände überwinden mufs, kann nicht wie in einem offenen Gerinne, oder in einem Stromlaufe durch seine freie Oberfläche an jeder Stelle unmittelbar dasjenige Gefälle darstellen, welches den Widerständen entspricht. Es mufs vielmehr eine Uebertragung des Druckes eintreten, und diese erfolgt entweder nur durch die starke Spannung, in welcher die ganze Wassermasse sich befindet, was

eben in jenen engen Röhren der Fall ist, oder es treten innere Bewegungen ein, die häufig übermäſsig stark sind, die man auch deutlich erkennt, wenn man durch Glasröhren mit dem Wasser zugleich Sägespähne hindurchtreiben läſst. Man bemerkt alsdann, daſs die ganze Masse sich in wirbelnder und anscheinend ganz unregelmäſsiger Bewegung befindet. Sehr auffallend unterscheiden sich auch beide Arten der Bewegung durch das Ansehn des aus der Leitung austretenden Strahles. Derselbe gleicht einem festen Glasstabe mit glatter Oberfläche und zeigt sich ganz unbeweglich, so lange die innern Bewegungen in der Röhre fehlen. Sobald diese jedoch eintreten, so schwankt er nicht nur hin und her, sondern seine Oberfläche nimmt auch einen matten Glanz, wie geätztes Glas an, und läſst unter der Lupe eine zahllose Menge kleiner Wellen erkennen.

Im letzten Falle wird also dem Wasser eine viel gröſsere Geschwindigkeit mitgetheilt, als sich aus der austretenden Masse erkennen läſst. Letztere, dividirt durch den Querschnitt, giebt die mittlere Geschwindigkeit in der Richtung der Leitung gemessen, während der erwähnte Versuch deutlich zeigt, daſs die Wassertheilchen sich wirklich in ganz anderen Richtungen bewegen. Es ist denkbar, daſs die groſse lebendige Kraft, die dem Wasser bei dem Eintritt in die Röhre mitgetheilt wird, und die sich eben in den Wirbeln zu erkennen giebt, zur Ueberwindung der Widerstände auf dem ganzen Wege dient. In diesem Falle müſste indessen in der Nähe der obern Mündung die innere Bewegung stärker sein, als vor der Ausmündung, was ich doch nie bemerken konnte. Die Erscheinung ist daher keineswegs aufgeklärt, und man ist noch nicht im Stande, sie auf die allgemeinen Gesetze der Mechanik zurückzuführen. Gewiſs ist nur, daſs die sogenannte Widerstandshöhe keineswegs allein zur Ueberwindung der Widerstände neben der Röhrenwand, die man theils als Reibung und theils als Klebrigkeit ansieht, verwendet wird, sondern vorzugsweise die innern Bewegungen erzeugt.

Unzweifelhaft gestaltet sich die Erscheinung am einfachsten in engen Röhren und zwar bis zu denjenigen Geschwindigkeiten, wo die innern Bewegungen beginnen. Obwohl dieser Fall in grössern Wasserleitungen nicht leicht vorkommt, so steht er doch mit den Erscheinungen bei diesen in sehr naher Beziehung und dient zum Theil zur Erklärung derselben. In jenem Falle ist die Wider-

standshöhe oder die Niveau-Differenz, welche zur Ueberwindung der Widerstände verwendet wird, der ersten Potenz der mittleren Geschwindigkeit, oder der ausfliefsenden Wassermenge proportional, aufserdem ist sie aber auch umgekehrt proportional dem Quadrate des Durchmessers der Röhre.

Letzteres ergab sich unzweifelhaft aus Beobachtungen, die ich mit drei verschiedenen, sorgfältig ausgeschliffenen Röhren von 1,17 . . . 1,84 und von 2,71 Rheinl. Linien Weite anstellte *), ersteres war schon früher bemerkt worden. Wenige Jahre später gelangte Poiseuille zu demselben Resultate, indem er zu den Messungen sehr feine Haarröhren von 0,007 bis 0,40 Rheinl. Linien Weite benutzte. Diese Untersuchung verfolgte vorzugsweise den physiologischen Zweck, die Gesetze der Bewegung des Blutes im thierischen Körper aufzufinden. Poiseuille legte seine Arbeit der Pariser Academie der Wissenschaften vor, und da die bereits erwähnten Resultate, von den bisher geltenden wesentlich abwichen, so ernannte die Academie eine Commission, zu der auch Arago gehörte, welche den Gegenstand näher prüfen sollte. Diese betheiligte sich an den Messungen und konnte nur die gefundenen Resultate bestätigen **).

Sowol meine, als diese Untersuchung zeigte, dafs die Bewegung des Wassers in engen Röhren in hohem Grade von der Temperatur abhängt, wie Gerstner dieses schon früher gefunden hatte ***). Dieser Einflufs der Temperatur veranlafst eigenthümliche Erscheinungen. Bei höherem Wärmegrade gewinnt das Wasser an Beweglichkeit, hierdurch bilden sich innere Bewegungen, und in Folge derselben vermindert sich die in der Richtung der Röhre gemessene Geschwindigkeit, oder die ausfliefsende Wassermenge. Wenn ich beispielsweise auf die enge Röhre von 1,17 Linie Weite und 18 Zoll Länge einen Druck von 11 Zoll wirken liefs, so nahm in der Richtung der Röhre gemessen die Geschwindigkeit von 27 bis 36 Zoll zu, sobald das Wasser von 0 bis 18 Grad Réaumur erwärmt wurde. Bei weiterer Erwärmung traten innere Bewegungen ein, die einen Theil der Druckhöhe consumirten, und dadurch jene Geschwindigkeit

*) Poggendorff's Annalen. Bd. 46. 1839.

**) Der Commissions-Bericht vom 25. December 1842 ist in den *Annales de chimie, Ser. III. Tom. VII.* vom Jahre 1843 abgedruckt, derselbe ist auch in Poggendorff's Annalen, Band 58. 1843 aufgenommen.

***) Gilbert's Annalen. Band 5. 1800.

wieder verminderten, die bei 32 Grad nur noch 31,6 Zoll maafs. Bei dieser Temperatur hatten sie sich vollständig ausgebildet und nunmehr vergröfserte sich wieder bei noch höheren Wärmegraden die ausfliefsende Wassermenge oder die Geschwindigkeit in der Richtung der Röhre. Letztere nahm freilich nur sehr langsam zu, doch fand ich sie bei 67 Grad gleich 35,4 Zoll. Indem ich diese Verhältnisse näher untersuchte *), bemühte ich mich nochmals, ein allgemein gültiges Gesetz für die Bewegung des Wassers in Röhren aufzustellen. Ich benutzte zu den Versuchen wieder dieselben Röhren, deren Weite ich aufs Neue maafs, ich liefs jedoch die Strahlen frei in die Luft austreten, um ihre Beschaffenheit wahrnehmen zu können.

Wenn c die mittlere Geschwindigkeit in der Richtung der Röhre, h die Druckhöhe (also die Niveau-Differenz zwischen dem Spiegel des Druckwassers und dem Mittelpunkte der Ausflufs-Oeffnung), L die Länge der Röhre und D ihren Durchmesser bezeichnet, Alles in Rheinländischen Zollen ausgedrückt, so fand ich

$$h = \alpha . D + \beta \frac{c L}{D^2} + \gamma c^2 + \delta \frac{c^2 L}{D}$$

Der constante Factor α des ersten Gliedes, das von der Geschwindigkeit ganz unabhängig ist, bezeichnete die Molecular-Attraction oder die Spannung der Oberfläche im austretenden Strahle, die nach Maafsgabe des Durchmessers D einen bestimmten Gegendruck bildete. Die Stärke dieser Spannung schlofs sich sehr nahe an denselben Werth an, der sich für die frisch gebildete Oberfläche des Wassers, aus der Gröfse der abfallenden Tropfen ergiebt. Er ist von der Temperatur abhängig, doch stellt sich dieses erste Glied stets so geringe dar, dafs man es vernachlässigen darf. Es verschwindet auch ganz, wenn man den Strahl unter Wasser austreten läfst.

Das dritte Glied bezeichnet die Geschwindigkeits-Höhe, der constante Factor γ hatte nahe denselben Werth, den die mit kurzen Ansatzröhren angestellten Versuche ergaben (§. 15), derselbe ist sowol von der Temperatur, wie auch von der Länge und Weite der Röhre unabhängig.

---

*) Ueber den Einflufs der Temperatur auf die Bewegung des Wassers in Röhren. Abhandlungen der Academie der Wissenschaften. Berlin 1854.

Eine nähere Betrachtung verdient das zweite Glied, welches bei engen Röhren und mäßsigen Geschwindigkeiten vorzugsweise die letzteren bedingt. Indem es das Quadrat des Durchmessers im Nenner enthält, so ergiebt sich, dafs es für kleine D überwiegend grofs sein mufs. Es wäre dabei zu erwähhen, dafs eine etwas grössere Uebereinstimmung mit den Beobachtungen sich noch darstellen liefs, wenn ich annahm, dafs eine sehr dünne Wasserschicht neben der Röhrenwand an der Bewegung gar nicht Theil nahm. Die Dicke derselben fand ich gleich 0,0013 Zoll, doch schien sie auch von der Temperatur abhängig zu sein. Dadurch verwandelt sich das zweite Glied in

$$\beta \frac{cLD^2}{(D - 0{,}0026)^4}$$

doch kann man von dieser unbedeutenden Correction absehn, da sie das Resultat nur wenig ändert, auch kaum durch meine Beobachtungen unzweifelhaft festgestellt ist, während Poiseuille's Beobachtungen ihr direct widersprechen. Der Factor β ändert sich sehr auffallend mit der Temperatur. Indem ich die Beziehung zwischen beiden suchte, kam ich endlich zu den Ausdrücken

$$\beta = 0{,}00006338 - 0{,}00001441 \sqrt[3]{\tau}$$

oder auch

$$\beta = 0{,}000015 (\sqrt[3]{80} - \sqrt[3]{\tau})$$

worin τ den Thermometer-Grad nach der Réaumurschen Scale bezeichnet und Rheinländisches Zollmaafs zum Grunde gelegt ist.

Ich mufs nech hinzufügen, dafs die erste Potenz der Geschwindigkeit im Zähler dieses Gliedes und die zweite des Durchmessers im Nenner sich vollständig erklären, wenn man wieder in derselben Weise, wie beim Ausflufs des Wassers durch Oeffnungen in dünner Wand (§. 14) geschah, eine stätige Zunahme der Geschwindigkeit von der Wand der Röhre bis zur Achse derselben annimmt. Es mag in dieser Beziehung genügen, auf meine letzterwähnte Abhandlung zu verweisen, und wäre nur zu erwähnen, dafs keine andre Voraussetzung dabei gemacht ist, als die an sich sehr plausible, dafs der Widerstand den zwei sich begrenzende unendlich dünne Lamellen ihrer gegenseitigen Verschiebung entgegensetzen, bei gleichen Flächen, der Gröfse dieser Verschiebung proportional ist.

Was endlich das vierte Glied des obigen Ausdrucks für h be-

trifft, so stellt es den üblichen Werth der Widerstandshöhe für weitere Röhren dar. Nach meinen Beobachtungen ist der constante Factor δ gleichfalls, jedoch nur in sehr geringem Grade von der Temperatur abhängig. Aufserdem stellte sich auch eine etwas gröfsere Uebereinstimmung zwischen den Beobachtungen dar, wenn ich den Exponent von c etwas verminderte und den von D etwas vergröfserte, doch konnten die in sehr kleinem Maafsstabe angestellten Messungen hierüber nicht entscheiden, vielmehr läfst sich über die Form und den constanten Factor dieses vierten Gliedes nur unter Zugrundelegung von Beobachtungen an weiteren Röhren mit Sicherheit urtheilen.

Unter diesen an weiten Röhren angestellten Messungen sind zuerst diejenigen zu erwähnen, die Couplet im Jahre 1732 der Pariser Academie vorlegte. Er hatte dieselben an 7 verschiedenen Leitungen bei Versailles gemacht. Die Leitungen waren 4 bis 18 Zoll weit und 1700 bis 11400 Fufs lang, man würde also hieraus sehr wichtige Resultate ziehn können, wenn die Messungen sicher wären. Von der einen Leitung bemerkte Couplet selbst, dafs sie sich in sehr schlechtem Zustande befunden habe, ob die sämmtlichen Röhren aber durch Niederschläge oder vielleicht durch angesammelte Luft stellenweise verengt waren, wurde nicht untersucht. Diese gesammten Messungen schliefsen sich auch an keine der bisher aufgestellten Theorien an, woher man daraus immer nur zwei bestimmte ausgewählt hat, bei denen dieses ungefähr statt findet.

Demnächst hat Bossut mit 3 Röhren Beobachtungen angestellt, die 1, 1½ und 2 Zoll weit waren, und nach und nach von 30 bis 180 Fufs verlängert, und jedesmal dem Drucke von 1 und 2 Fufs ausgesetzt wurden. Endlich theilt Dubuat in seinem bekannten Werke noch 56 eigne Messungen an Röhren von ¾ Linien bis 1 Zoll Durchmesser mit. Von diesen sind jedoch bisher immer nur diejenigen 10 benutzt worden, die sich auf die einzölligen Röhren beziehn.

Die vorstehend benannten Beobachtungen, die sämmtlich aus dem vorigen Jahrhunderte herrühren, liegen allein allen bisherigen Theorien zum Grunde. In neuerer Zeit sind freilich noch durch das *Institution of Civil Engineers* Messungen von Provis an einer 1½ zölligen Röhre bekannt gemacht worden, die jedoch unter sich viel

weniger übereinstimmen, als diejenigen von Bossut und Dubuat, woher von denselben nie Gebrauch gemacht ist.

Dubuat versuchte zuerst aus seinen eignen und den erwähnten frühern Beobachtungen eine allgemein gültige Regel über die Bewegung des Wassers in Röhren aufzustellen, der Ausdruck zu dem er gelangte und der zugleich die Bewegung in offenen Gerinnen umfassen sollte, war indessen so complicirt, dafs er wohl niemals einer Rechnung zum Grunde gelegt ist.

Woltman, der die Deutschen Hydrotecten zuerst mit Dubuat's *Principes d'hydraulique* bekannt machte *), vereinfachte diesen Ausdruck in Betreff der Röhrenleitungen sehr wesentlich, indem er nachwies, dafs nach den vorliegenden Beobachtungen der Widerstand, also die Druckhöhe nahe der $\frac{7}{4}$ Potenz der Geschwindigkeit und umgekehrt der Röhrenweite proportional sei. Auch Eytelwein empfahl, bei genaueren Rechnungen nicht die zweite, sondern eine etwas niedrigere Potenz, nämlich die $\frac{15}{8}$ zu wählen.

Für gewöhnliche Fälle stellte Eytelwein **) das einfache Gesetz auf, dafs die Widerstandshöhe $H' = K\frac{c^2 L}{D}$ sei. Eytelwein versuchte auch, das Quadrat der Geschwindigkeit dadurch zu begründen, dafs bei doppelter Geschwindigkeit in gleicher Zeit von derselben Röhrenwand nicht nur die doppelte Anzahl der Wassertheilchen, sondern diese auch noch einmal so schnell abgerissen werden müssen. Dieses Räsonnement ist indessen sehr zweifelhaft, wenn man die mechanischen Verhältnisse schärfer auffafst. Aufserdem wird dabei nur die Reibung gegen die Röhrenwand in Betracht gezogen, von den innern Bewegungen aber ganz abgesehn, und endlich findet dieses Gesetz, wie bereits erwähnt, in engen Röhren keine Bestätigung. Was dagegen die Einführung des Durchmessers D in den Nenner betrifft, so erklärt Eytelwein dieselbe dadurch, dafs der Widerstand bei gleicher Länge verschiedener Röhren dem Umfange, also dem Durchmesser proportional sein müsse, sich aber auf die ganze Wassermasse, oder auf den Querschnitt vertheile, woher der Widerstand für jeden einzelnen Wasserfaden dem Durchmesser dividirt durch das Quadrat desselben, oder umgekehrt dem Durchmesser proportional sei.

*) Beiträge zur hydraulischen Architectur. Band I. Göttingen 1791.

**) Handbuch der Mechanik und Hydraulik. Berlin 1801.

Obwohl diese Begründungen, wobei die ganze Wassermenge, die sich gerade in der Röhre befindet, als ein fester Körper betrachtet wird, keineswegs als vollgültige Beweise angesehn werden können, so stellt der Ausdruck, zu dem sie führen, sich doch sehr bequem dar, und dieses um so mehr als die sogenannte Geschwindigkeits-Höhe gleichfalls dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional ist, und sich sonach leicht mit der Widerstands-Höhe verbinden läfst. Ist H die ganze Druckhöhe und L die Länge der Röhre, so findet Eytelwein, wenn alle Gröfsen in Rheinländischen Fufsen ausgedrückt sind

$$c = 45,4 \sqrt{\frac{HD}{L + 50 \, . \, D}}$$

In gleicher Weise, wie diese Formel bisher bei uns allen betreffenden Rechnungen zum Grunde gelegt wurde, so ist dieses in Frankreich mit dem Ausdrucke geschehn, den Prony wenige Jahre später aus denselben Beobachtungen herleitete *). Der letzte Ausdruck unterscheidet sich jedoch von jenem dadurch, dafs darin die Geschwindigkeitshöhe unbeachtet bleibt, dagegen vorausgesetzt wird, dafs der Widerstand nicht nur von der Reibung der Röhrenwand, sondern auch von der Klebrigkeit derselben herrührt. Prony nimmt aber an, dafs jene der zweiten und diese der ersten Potenz der Geschwindigkeit proportional sei. Ob diese Unterscheidung, die schon Coulomb einführte, sich wirklich begründet, mag dahin gestellt bleiben, jedenfalls liefs sich aber ein schärferer Anschlufs an die Beobachtungen erreichen, indem zwei Glieder, mit zwei unbekannten constanten Factoren eingeführt wurden. Zur Zeit, als Prony die Formel berechnete, war indessen die Methode zur Auffindung der wahrscheinlichsten Werthe der Factoren aus einer gröfseren Anzahl von Beobachtungen noch wenig bekannt, und daher sind die Resultate auch nicht in aller Strenge richtig. Er gelangte zu dem Ausdruck

$$c = -0,175 + \sqrt{(0,03 + 922 \, . \, PD)}$$

worin P das relative Gefälle, also die Widerstandshöhe dividirt durch die Länge der Röhre bedeutet, und c und D in Metern ausgedrückt sind. Wenn dagegen die Geschwindigkeit und die Röhrenweite in Rheinländischen Fufsen gemessen werden, so verwandelt sich dieser Ausdruck in

*) *Recherches physico-mathématiques des eaux courantes. Paris 1804.*

$$c = -0{,}557 + \sqrt{(0{,}31 + 2937 \, . \, PD)}$$

Indem aus den erwähnten Beobachtungen mit einiger Sicherheit gefolgert werden konnte, daſs der Widerstand nicht der zweiten, sondern einer etwas geringeren Potenz der Geschwindigkeit proportional sei, so muſste entweder eine solche angenommen oder noch ein zweites Glied eingeführt werden, welches die erste Potenz enthielt. Letzteres hat Prony gethan, und gewiſs war dieses das Passendere, dadurch kommt man aber, wenn man c ausdrücken will, auf eine quadratische Gleichung, welche zugleich die erste Potenz der Unbekannten enthält, und daher in der Anwendung etwas unbequem ist. Um diesem geringen Uebelstande zu begegnen, ist der Vorschlag von Woltman, c unter einen gebrochenen Exponenten einzuführen, mehrfach befolgt, was um so mehr zulässig erschien, als bei der Unsicherheit der zum Grunde liegenden Beobachtungen doch kein sicheres Resultat zu erwarten stand. In dieser Beziehung hatte ich in der früheren Ausgabe dieses Werkes die Einführung der $\frac{7}{4}$ Potenz empfohlen, die nach jenen Beobachtungen sich als die wahrscheinlichste herausstelle und eine sehr bequeme logarithmische Berechnung gestattete. Saint Venant veränderte diesen Exponenten in $\frac{13}{7}$, während Dupui dem Ausdrucke, wonach aus der Wassermenge und dem Gefälle die Weite der Röhre berechnet werden soll, wieder die Voraussetzung zum Grunde legte, daſs die Druckhöhe der zweiten Potenz der Geschwindigkeit proportional sei.

Indem gröſsere Leitungen weder vollkommen cylindrisch dargestellt, noch auch wenn dieses der Fall wäre, dauernd in dieser Regelmäſsigkeit erhalten werden können, da Verengungen durch Niederschläge, auch wohl durch Ansammlung von Luft aller Vorsicht unerachtet, unvermeidlich sind, so rechtfertigt sich gewiſs die Vorsicht, stets solche Weiten zu wählen, daſs voraussichtlich die Ergiebigkeit gröſser, als das Bedürfniſs ist. Durch theilweise Schliessung der Hähne kann man alsdann leicht die nöthige Regulirung veranlassen. Aus diesem Grunde ist die Ansicht vielfach verbreitet, daſs die Technik einer nähern Kenntniſs der Gesetze über die Bewegung des Wassers in cylindrischen Röhren nicht bedarf, dieses ist aber nicht der Fall, da die Anlage sich unbedingt wesentlich vertheuert, wenn man Weiten wählt, welche jedes Bedürfniſs weit übersteigen, man aber auch bemüht sein muſs, nach den jedesmaligen localen Verhältnissen den erforderlichen Zusatz in den Weiten

richtig zu bemessen, und hierzu die Kenntnifs der Ergiebigkeit, die in normalem Zustande eintreten würde, unentbehrlich ist. Dazu kommt aber noch, dafs eine Technik, die ihrer Natur nach sich auf Wissenschaft gründet, von solcher Willkühr frei werden mufs, sobald dazu die Gelegenheit sich bietet.

Letzteres war bisher nicht der Fall, da die vorliegenden Beobachtungen, in so fern sie sich auf weitere Röhren bezogen, zu unsicher waren, als dafs man zuverlässige Resultate daraus hätte ziehn können. Dieser Mangel ist gegenwärtig in höchst anerkennungswerther Weise durch die Messungen gehoben, welche Darcy an der Wasserleitung Chaillot in Paris angestellt hat*). Wenn dadurch auch keineswegs alle Zweifel vollständig gelöst sind, so übertreffen diese Beobachtungen doch so sehr alle früheren an Vollständigkeit und Schärfe, dafs der Versuch sich rechtfertigt, aus ihnen die Gesetze herzuleiten, denen das Wasser beim Durchfliefsen cylindrischer Röhren folgt. Darcy hatte freilich nicht zu diesem Zwecke die Messungen angestellt, er wollte vielmehr daraus nur gewisse Regeln ableiten, wonach die Ergiebigkeit verschiedener Röhren, wie sie gewöhnlich zur Anwendung kommen, beurtheilt werden kann. Er benutzte daher auch Röhren, worin sich durch langen Gebrauch Niederschläge abgesetzt hatten, so wie auch solche, von denen jede an einem Ende weiter, als am andern war. Bei den Glasröhren verhielten sich die an verschiedenen Stellen gemessenen Querschnitte wie 5 zu 7 gegen einander, auch bei den Asphaltröhren und den engeren Blechröhren war die regelmäfsige cylindrische Form keineswegs vorauszusetzen. Ob solche, mit unregelmäfsigen Röhren angestellten Versuche wirklich von Nutzen sind, mufs man wohl bezweifeln, da die Gröfse der Unregelmäfsigkeiten doch nicht constant ist, und man daher bei Anwendung der Röhren gleicher Art auch keineswegs dieselben Resultate erwarten darf. Gewifs würden diese Messungen von viel gröfserer Bedeutung und zugleich in technischer Beziehung viel nützlicher gewesen sein, wenn auf die Darstellung möglichst regelmäfsiger cylindrischer Formen mehr Aufmerksamkeit verwendet wäre. Hiernach war es nothwendig, der nachstehenden Untersuchung nur diejenigen Beobachtungsreihen zum Grunde zu

*) *Recherches expérimentales rélativs au mouvement de l'eau dans les tuyaux, par H. Darcy. Paris* 1857.

legen, bei denen vorausgesetzt werden durfte, dafs die Röhren nicht auffallend unregelmäfsig waren.

Der Einflufs dieser gröfsern, oder minderen Abweichungen von der regelmäfsigen Form stellt sich in den Beobachtungen augenscheinlich heraus. Eine Asphaltröhre (No. VII) hatte zum Beispiel sehr genau dieselbe Weite, wie eine Blechröhre (No. II) und dennoch sind die darnach berechneten Constanten im Verhältnisse von 2 zu 3 verschieden. Die an den einzelnen Röhren angestellten Messungen stimmen dagegen unter sich so genau überein, wie dieses nur zu wünschen ist, und hiervon überzeugt man sich leicht, wenn man die Messungen nach den relativen Gefällen P und den mittleren Geschwindigkeiten c graphisch aufträgt: ein Beweis, dafs die Beobachtungen mit grofser Vorsicht ausgeführt sind. Vergleicht man dagegen unter einander die Resultate, die sich aus den Beobachtungen mit verschiedenen Röhren herausstellen, so bemerkt man die auffallendsten Abweichungen und diese erklärt Darcy durch ein stärkeres oder schwächeres Haften des Wassers an den verschiedenen Wänden, woher er für jedes Material einen andern Reibungs-Coefficienten einführt. Diese Voraussetzung ist indessen an sich höchst unwahrscheinlich und es ist sogar undenkbar, dafs die Wand über eine sehr dünne Schicht hinaus noch einen verschiedenartigen Einflufs auf die Bewegung des Wassers ausüben sollte, namentlich wenn man die Bewegungen im Innern der Masse berücksichtigt. Wenn man aber neben der Röhrenwand eine ruhende Wasserschicht voraussetzen wollte, deren Dicke von dem Material abhängig wäre, so läge die Vermuthung viel näher, dafs die Gestaltung der Wand, also die Unregelmäfsigkeit derselben den bemerkten Einflufs ausübt.

Die Grenzen dieses Handbuches würden weit überschritten werden, wenn ich die Rechnungen, denen ich Darcy's Beobachtungen unterwarf, vollständig mittheilen wollte, ich beschränke mich daher, den Gang derselben und die Hauptresultate anzuführen, nachdem ich die Beobachtungen kurz beschrieben habe.

Darcy benutzte 22 Röhren, deren Weite er grofsentheils dadurch bestimmte, dafs er sie mit Wasser anfüllte, und darauf den Inhalt maafs. In den weiteren Röhren wurden auch an beiden Enden jedes einzelnen Theiles die Durchmesser in kreuzweiser Richtung unmittelbar gemessen. Das Verlegen der Röhren erfolgte in der Art, dafs nicht nur alle Biegungen des Stranges vermieden wurden, son-

dern derselbe auch in der Richtung der Strömung sanft anstieg, damit die Luftblasen, die in den Leitungen nicht selten vorkommen, sich nicht ansammeln, sondern sogleich mit dem Wasser fortgetrieben werden möchten.

Die Stränge waren über 100 Meter lang, nur die der Bleiröhren beschränkten sich auf die Hälfte. Sehr zweckmäfsig war die Vorrichtung zur genauen Bestimmung der Druckhöhen gewählt. Es wurde nämlich nicht, wie sonst geschieht, die Niveau-Differenz zwischen Ober- und Unterwasser, sondern der Druck gemessen, der an verschiedenen Stellen der Leitung statt fand. Hierzu diente das zu ähnlichen Zwecken schon sonst benutzte Piezometer, welches in einer oben offenen Glasröhre besteht, in der das Wasser aus der Röhre bis zu derjenigen Höhe frei ansteigt, welche dem Drucke an dieser Stelle entspricht. Ein solches Instrument befand sich in einiger Entfernung hinter dem obern Ende der Leitung, ein zweites vor dem untern Ende, und ein drittes oder zwei solche, die nur zur Controlle dienten, an dazwischen liegenden Stellen. Von allen diesen Piezometern waren Bleiröhren nach einer in der Mitte stehenden Säule gezogen, wo alle Glasröhren neben einander standen und an demselben Maafse abgelesen werden konnten. Die Differenzen zeigten unmittelbar diejenige Druckhöhe an, die in dem betreffenden Theile der Leitung zur Ueberwindung der Widerstände verwendet wurde. Durch diese Anordnung wurde zugleich der Vortheil erreicht, dafs derjenige Theil der Druckhöhe, der dem Wasser beim Eintritt in die Röhre die Geschwindigkeit mittheilt, mit der es diese durchfliefst, oder die sogenannte Geschwindigkeits-Höhe, ganz umgangen wird.

Sobald sich beim Beginne der Beobachtungen eine gleichmäfsige Strömung eingestellt hatte, hörten an den drei oder vier Piezometern die Schwankungen auf, und alsdann leitete man das abfliefsende Wasser unterhalb der Versuchsröhre durch Oeffnen einer Bodenklappe eine bestimmte Zeit hindurch in ein cylindrisches Gefäfs, dessen Inhalt demnächst gemessen wurde. Dieser Abflufs war aber so angeordnet, dafs er auf die Durchströmung der Versuchsröhre keinen Einflufs ausübte, was sich durch fortgesetzte Beobachtung der Piezometer leicht erkennen liefs.

Zuerst wurden drei Röhren aus Eisenblech (I, II und III) von 0,47 . . . 1,02 und 1,51 Zoll Durchmesser benutzt, an denen unter

verschiedenen Druckhöhen, also bei verschiedenen Geschwindigkeiten 13 . . . 13 und 12 einzelne Beobachtungen angestellt wurden.

Die Röhren IV, V und VI waren Bleiröhren von 0,54 . . . 1,03 und 1,56 Zoll Weite. Mit jeder machte man 7 Beobachtungen.

Sodann folgen die Asphaltröhren VII, VIII, IX und X von 1,02 . . . 3,16 . . . 7,49 und 10,89 Zoll, damit wurden 12 . . . 12 . . . 11 und 7 einzelne Beobachtungen ausgeführt.

XI ist eine Glasröhre, durchschnittlich 1,90 Zoll weit. 6 Beobachtungen.

Die folgenden Nummern bis XXII sind sämmtlich gufseiserne Röhren, von denen ich aber diejenigen ausschlofs, die nicht rein, vielmehr durch Niederschläge in Folge der frühern Benutzung verengt waren, die übrigen waren theils ganz neu, nämlich XVI, XVII, XVIII und XXII, theils vorher gereinigt, XIII, XV, XX, und XXI. Die Weiten, sowie die Anzahl der damit angestellten Beobachtungen betrugen

bei	XIII	1,39	Zoll	und	7	Beobachtungen
-	XV	3,06	-	-	7	-
-	XVI	3,13	-	-	13	-
-	XVII	5,24	-	-	10	-
-	XVIII . . .	7,19	-	-	9	-
-	XX	9,35	-	-	8	-
-	XXI	11,36	-	-	8	-
-	XXII	19,15	-	-	9	-

Zunächst kam es darauf an, die Form des Ausdrucks kennen zu lernen, an welche die mit jeder Röhre angestellte Beobachtungsreihe sich am besten anschliefst. Ich versuchte zuerst, wie die früheren Messungen darauf hingedeutet hatten, den Widerstand einer unbekannten Potenz der Geschwindigkeit proportional zu setzen, und wählte daher den Ausdruck

$$P = mc^x$$

Indem ich für jede Reihe den wahrscheinlichsten Werth des Exponenten x berechnete, ergab es sich, dafs derselbe für die engsten Röhren sich auf 1,5 stellte, mit der Weite der Röhren zunahm und für die Röhre No. XXII sogar etwas gröfser, als 2 wurde.

Von der Einführung eines allgemein gültigen Exponenten mufste daher abgesehn werden, doch kam es noch darauf an, zu prüfen,

ob vielleicht die einzelnen Reihen sich an diesen Ausdruck besser anschliefsen, als an denjenigen der zwei Glieder mit der ersten und zweiten Potenz der Geschwindigkeit enthält. Zu diesem Zwecke wählte ich diejenigen beiden Reihen aus, welche sowol eine grofse Anzahl einzelner Beobachtungen umfafsten, als auch in andrer Beziehung als besonders zuverlässig angesehn werden durften. Dieses waren die Reihen III und XVI. Ich verglich dieselben mit den drei Ausdrücken

$$A \ldots . \; P = mc^x$$

$$B \ldots . \; P = rc + sc^2$$

$$\text{und } C \ldots . \; P = s'c^2$$

Der dritte Vergleich war an sich zwar entbehrlich, indem schon der zweite ein sicheres Urtheil in dieser Beziehung gestattete, doch erschien es angemessen die Form C, da sie besonders häufig angewendet wird, noch speciell einer Prüfung zu unterwerfen. Um die Constanten m, x, r, s und s' nach der Methode der kleinsten Quadrate zu berechnen, mufste ich die Bedingung stellen, dafs nicht sowol die Summe der Quadrate der absoluten, als die der relativen Fehler von P ein Minimum wird, weil sonst ausschliefslich diejenigen Beobachtungen berücksichtigt worden wären, in welchen die Gefälle sehr grofs sind, und diejenigen mit den kleinsten Gefällen allen Einflufs verloren hätten. Zu diesem Zwecke dividirte ich alle drei Ausdrücke durch c, was auch in allen folgenden Untersuchungen geschehn ist. Nachdem in dieser Weise die betreffenden Constanten gefunden waren, führte ich dieselben in die Ausdrücke ein und berechnete darnach die Werthe von $\frac{P}{c}$. Die Unterschiede zwischen diesen und den beobachteten Werthen, waren die Fehler, deren Quadrate, mit $[x'x']$ bezeichnet, ein Minimum sein sollten. Ich fand

für die Reihe III

nach $A \ldots . \; [x'x'] = 0{,}00001691$
- $B \ldots . \; = 0{,}00001441$
- $C \ldots . \; = 0{,}00011135$

und für die Reihe XVI

nach $A \ldots . \; [x'x'] = 0{,}00002980$
- $B \ldots . \; = 0{,}00000285$
- $C \ldots . \; = 0{,}00000724$

In beiden Fällen war also die Summe der Quadrate bei Anwendung des zweiten Ausdruckes am geringsten, und sonach dieser der wahrscheinlichste.

Es entstand ferner die Frage, ob das zweite Glied wirklich das Quadrat, oder vielleicht eine andre Potenz der Geschwindigkeit zum Factor hat. Für das erste Glied war nach meinen oben erwähnten Beobachtungen ein ähnlicher Zweifel bereits beseitigt. Ich verglich daher den Ausdruck

$$P = rc + sc^{z}$$

mit den einzelnen Beobachtungsreihen und berechnete daraus den unbekannten Exponenten z. Die Lösung dieser Aufgabe nach der Methode der kleinsten Quadrate würde aber die Einführung von Näherungswerthen gefordert haben und daher sehr mühsam gewesen sein, woher ich es vorzog, nachdem ich die einzelnen Reihen graphisch aufgetragen hatte, daraus je drei Beobachtungen auszusuchen, die theils recht weit aus einander lagen, und theils dem allgemeinen Zuge der Curve sich gut anschlossen. Hiernach fielen die Werthe von z zwischen 1,82 und 2,06, nur zweimal wichen sie sehr stark ab, indem sie 1,59 und 3,20 betrugen. Diese beiden grofsen Abweichungen rührten aber allein von denjenigen Beobachtungen her, bei welchen die relativen Gefälle sehr klein, also auch sehr unsicher waren. Nachdem ich diese ausgeschlossen, stellten sich alle Werthe von z nahe auf 2, und es mufs noch bemerkt werden, dafs ihre Gröfse keine Beziehung zur Weite der Röhre erkennen liefs. Der vorstehende Ausdruck B darf also als der richtige angesehn werden.

Bevor ich zur nähern Bestimmung der Constanten überging, war es nöthig diejenigen Beobachtungsreihen auszuschliefsen, bei welchen eine regelmäfsige cylindrische Form nicht vorausgesetzt werden durfte.

Dieses war bei den engen Röhren aus Eisenblech der Fall, wo die Schweifs-Naht im Innern nicht beseitigt werden kann. Ich verwarf daher die Beobachtungsreihen I und II. Bei No. III schien dieses wegen der gröfseren Weite nicht nothwendig, insofern diese Unregelmäfsigkeiten sich auf enge Grenzen beschränken. Die Bleiröhren No. IV, V und VI müssen als die regelmäfsigsten unter allen angesehn werden, wogegen die Asphaltröhren nach der Beschreibung, die Darcy bei Gelegenheit der Leitungen in Dijon von der Fabri-

kation derselben giebt, keineswegs regelmäfsig geformt sein können. Sie bestehn aus zusammengenietheten Blechröhren, die von aufsen, wie von innen mit Asphalt überzogen sind. Da nicht abzusehn, wie der innere Ueberzug gleichmäfsig aufgetragen werden kann, so sind die betreffenden Beobachtungsreihen ausgeschlossen. Mit der Glasröhre, deren verschiedenartige Weite Darcy selbst angiebt, mufste dieses gleichfalls geschehn, und eben so auch mit den gufseisernen Röhren, aus welchen die Niederschläge nicht entfernt waren. Von den 22 Beobachtungsreihen blieben sonach nur 12 übrig.

Doch auch diese durften nicht vollständig benutzt werden. Die bisherigen Rechnungen zeigten nämlich schon, dafs vielfach sehr starke Abweichungen in denjenigen Beobachtungen vorkommen, worin die Gefälle sehr klein sind. Darcy giebt dieselben, also die Werthe von P, in fünf Decimalstellen an, woher die geringsten Gefälle darin nur durch zwei Ziffern ausgedrückt werden. Wenn die letzte derselben sich um einige Einheiten ändert, was bei der Unsicherheit dieser Messungen doch leicht möglich ist, so nehmen die gesuchten Constanten schon wesentlich andre Werthe an. Ich habe daher alle Beobachtungen ausgeschlossen, in welchen P kleiner, als 0,001 ist.

Nachdem diese Sonderung vorgenommen war, berechnete ich wieder aus allen übrigen Beobachtungen für den Ausdruck

$$\frac{P}{c} = r + sc$$

die wahrscheinlichsten Werthe der Constanten r und s. In nachstehender Tabelle sind dieselben unter Beifügung der Röhrenweiten D in metrischem Maafse zusammengestellt.

	D Meter.	r	s
IV	0,014	0,01279	0,0898
V	0,027	0,00713	0,0470
XIII	0,0364	0,00304	0,0343
III	0,0395	0,00422	0,0316
VI	0,041	0,00447	0,0281
XV	0,0801	0,000544	0,0188
XVI	0,0819	0,000923	0,0157
XVII	0,137	0,000500	0,00740
XVIII	0,188	0,000364	0,00588
XX	0,2447	0,000136	0,00557
XXI	0,297	0,000024	0,00406
XXII	0,5006	0,000005	0,00195

Es ergiebt sich hieraus, dafs sowol r, wie auch s bei zunehmender Röhrenweite kleiner werden, man bemerkt aber sogleich, dafs die Abnahme beider in ganz verschiedenem Verhältnisse erfolgt. Die s sind der Röhrenweite D umgekehrt proportional, die r dagegen dem Quadrate der letzteren. So bestätigen also Darcy's Beobachtungen sehr augenfällig dasselbe Gesetz, welches ich aus den Messungen mit sehr engen Röhren früher gefunden hatte, dafs nämlich in dem Ausdrucke für das relative Gefälle dasjenige Glied, welches die erste Potenz der Geschwindigkeit zum Factor hat, die zweite Potenz der Röhrenweite im Nenner enthält.

Man hat sonach

$$\frac{P}{c} = \frac{1}{D^2} x + \frac{c}{D} y$$

Wollte man indessen hiernach die beiden Unbekannten x und y berechnen, so würde man die Summen von Gliedern erhalten, die meist durch D^2, D^3 und D^4 dividirt sind, wobei also die mit den weitern Röhren angestellten Beobachtungen vollständig unbeachtet bleiben, und nur die engsten Röhren die gesuchten Gröfsen bestimmen. Der Ausdruck mufste daher nochmals verändert werden in

$$\frac{PD}{c} = \frac{1}{D} x + cy$$

Indem ich aus den 87 einzelnen Beobachtungen die Werthe von P, D und c einführte, fand ich

$$x = 0{,}000\,005\,336$$

und

$$y = 0{,}001\,193$$

Für die Constante x ist der wahrscheinliche Fehler relativ viel gröfser, als für y. Unter Zugrundelegung des oben mitgetheilten Ausdruckes, der die Abhängigkeit des Factors x von der Temperatur nachweist, würde (mit Rücksicht auf das hier benutzte metrische Maafs) sich ergeben, dafs die zum Grunde liegenden Beobachtungen bei + 1 Grad der Réaumur'schen Scale ausgeführt sind. Darcy hat nur in wenigen Fällen die Temperaturen angegeben, nach den Jahreszeiten zu urtheilen, in welchen die Messungen gemacht wurden, mufs man indessen annehmen, dafs die Temperatur viel höher war und mindestens 10° R. betrug. Dadurch würde für metrisches Maafs

$$x = 0{,}000\,003\,382$$

sein. Diese Aenderung erscheint bei der Unsicherheit des aus Darcy's Messungen hergeleiteten Werthes dieses Gliedes zulässig, und wenn

man dieses x in alle einzelnen Beobachtungen einführt, so erhält man den wahrscheinlichsten Werth von y

$$y = 0{,}001\,202$$

Die vorliegenden Beobachtungen werden sonach am sichersten wiedergegeben durch den Ausdruck

$$P = 0{,}000\,003\,382 \frac{c}{D^2} + 0{,}001\,202 \frac{c^2}{D}$$

und wenn man hiernach die Werthe von P für die gemessenen c und D berechnet, so findet man, dafs nach diesen 87 Beobachtungen der wahrscheinliche relative Fehler sich auf 0,0971 stellt, oder nahe 10 Procent des Werthes von P beträgt.

Die vorstehend gegebenen Constanten beziehn sich auf metrisches Maafs. Sind D und c in Rheinländischen Fufsen ausgedrückt, so ist

$$y = 0{,}000\,377$$

Die Constante x ist aber bei diesem Maafse nach dem früher mitgetheilten Ausdrucke

$$x = 0{,}000\,0211 - 0{,}000\,0048 \sqrt[3]{t}$$

für die jedesmalige Temperatur von t Graden R. zu berechnen.

Bei der Anlage von Wasserleitungen sucht man gewöhnlich den Durchmesser D, während die Wassermenge

$$M = \tfrac{1}{4}\pi c D^2$$

sowie auch die Länge der Leitung und die Druckhöhe, also das relative Gefälle P gegeben sind. Es kommt also darauf an, aus der Gleichung

$$P = 1{,}273 \frac{M}{D^4} x + 1{,}621 \frac{M^2}{D^5} y$$

D zu berechnen. Passende Tabellen würden die Lösung dieser Aufgabe ohne Zweifel erleichtern, doch läfst sich auch ohne solche der richtige Werth von D bald finden, wenn man mit Rücksicht auf die gegebenen M und P willkührlich einige Werthe für D einführt und die Differenzen gegen P berechnet. Aus letztern kann man sogleich erkennen, ob D zu grofs oder zu klein angenommen ist, und so wird man sehr schnell den passenden Werth, soweit es erforderlich ist, mit hinreichender Schärfe ermitteln. Wenn es aber darauf ankommt, ein Project zu bearbeiten, das Tausende kostet, so darf man eine Rechnung nicht scheuen, die in einer Stunde gemacht ist.

Hierbei tritt indessen gemeinhin noch eine andre sehr wesentliche Erleichterung ein. Eine grofse Schärfe der Rechnung ist nämlich nicht erforderlich, da man den Querschnitt der Röhre wegen zufälliger Verengungen, und weiterer Ausdehnung des Bedürfnisses doch jedesmal etwas vergröfsert. Aufserdem schliefsen sich die zum Grunde liegenden Beobachtungen auch keineswegs in aller Schärfe dem gefundenen Ausdrucke an, vielmehr beträgt der wahrscheinliche relative Fehler von P sogar noch 10 Procent. Begnügt man sich daher mit einer solchen Schärfe der Rechnung, wobei der durch diese veranlafste Fehler nur halb so grofs ist, als der eben erwähnte wahrscheinliche, so kann man das erste Glied unbeachtet lassen, sobald dieses kleiner, als der zwanzigste Theil von P ist. Dieses geschieht, wenn die Geschwindigkeit gröfser wird, als

$$\frac{19 \,.\, x}{Dy}$$

oder wenn die Wassermenge M gröfser wird, als

$$\frac{19 \,.\, \pi x}{4 \,.\, y} D$$

In der folgenden Tabelle sind diese Grenzwerthe von c und M für verschiedene Röhrenweiten zusammengestellt.

D	c	M
3 Zoll	2,52 Fufs	0,12 Cb. Fufs
6 -	1,26 -	0,25 -
9 -	0,84 -	0,37 -
12 -	0,63 -	0,49 -
15 -	0,50 -	0,62 -
18 -	0,42 -	0,74 -
21 -	0,35 -	0,86 -
24 -	0,31 -	0,99 -
36 -	0,21 -	1,48 -

Indem diese Grenzen mit den seltensten Ausnahmen bei gröfseren Leitungen wohl immer überschritten werden, so hindert nichts n solchen Fällen das erste Glied im Ausdrucke für P zu vernachlässigen. Man hat alsdann

$$P = 0{,}000\,377 \frac{c^2}{D}$$

oder

$$P = 0{,}000\,611 \frac{M^2}{D^5}.$$

also $$D = 0{,}228 \sqrt[5]{\frac{M^2}{P}}$$

In diesem, für logarithmische Berechnung sehr bequemen Ausdrucke ist sowol der Durchmesser der Röhre (D) wie auch die in 1 Secunde abgeführte Wassermenge (M) in Rheinländischen Fufsen gegeben, während P das relative Gefälle der Leitung bezeichnet.

Dieser Ausdruck beruht auf der Voraussetzung, dafs die zur Darstellung der Geschwindigkeit erforderliche Druckhöhe, also die sogenannte Geschwindigkeitshöhe, vergleichungsweise zu der hier allein berücksichtigten Widerstandshöhe verschwindend klein ist. Es kommt sonach darauf an, die Grenze zu bezeichnen, von welcher ab man die vorstehende einfache Formel anwenden darf.

Unter Annahme, dafs der Contractions-Coefficient für cylindrische Röhren gleich 0,83 sei, ist die Geschwindigkeitshöhe, die von der Länge der Röhre ganz unabhängig ist,

$$= 0{,}0232 \, . \, c^2$$

Die Widerstandshöhe dagegen unter Fortlassung des ersten Gliedes

$$P = 0{,}000\,377 \, \frac{c^2}{D}$$

P ist aber das relative Gefälle, also gleich der Widerstandshöhe, dividirt durch die Länge der Röhre $= L$, folglich die erstere gleich

$$= 0{,}000\,377 \, \frac{L c^2}{D}$$

und daher die ganze Druckhöhe

$$h = \left(0{,}0232 + 0{,}000\,377 \, \frac{L}{D}\right) c^2$$

$$h = 0{,}000\,377 \left(\frac{L}{D} + 61{,}5\right) c^2$$

Schon oben wurde ein Fehler von 5 Procent im Werthe von P, also auch von h, für zulässig erachtet, dieser tritt bei Fortlassung des zweiten Gliedes in der Parenthese ein, wenn

$$\frac{L}{D} = 19 \, . \, 61{,}5 = 1168{,}5$$

Man darf also die Vereinfachung des Ausdruckes ausführen, oder von der Geschwindigkeitshöhe absehn, sobald

$$L = 1168{,}5 \, . \, D$$

oder noch gröfser ist, also wenn

für $D = 0{,}25$ Fuſs	$L = 292$ Fuſs
$= 0{,}50$ -	$= 584$ -
$= 0{,}75$ -	$= 876$ -
$= 1{,}00$ -	$= 1168$ -
$= 1{,}25$ -	$= 1460$ -
$= 1{,}50$ -	$= 1752$ -
$= 1{,}75$ -	$= 2044$ -
$= 2{,}00$ -	$= 2336$ -
$= 3{,}00$ -	$= 3504$ -

Bei Ausführung von Leitungen dürfte diese Grenze wohl jedesmal überschritten werden, woher man die Geschwindigkeitshöhe alsdann nicht in Rechnung zu stellen braucht. Hat das Wasser aber vor dem Eintritt in die Röhre schon eine gewisse Geschwindigkeit c', so ist die erforderliche Druckhöhe, wodurch die Geschwindigkeit sich von c' in c verwandelt

$$= 0{,}232 \,.\, c^2 - \frac{c'^2}{4g}$$

oder

$$= 0{,}232 \,.\, c^2 - 0{,}0160 \,.\, c'^2$$

wodurch der Werth der Geschwindigkeitshöhe noch geringer wird.

Die vorstehende Untersuchung setzte voraus, daſs die Röhre nahe horizontal liegt, also die Widerstände darin durch den Druck überwunden werden, dem das Wasser schon bei seinem Eintritt in die Röhre ausgesetzt ist. Dieses ist zwar bei gröſsern Leitungen der gewöhnliche Fall, doch treten zuweilen auch andere Verhältnisse ein, die bisher ganz unbeachtet geblieben sind. Es mag hier nur von vertikalen cylindrischen Röhren die Rede sein, in welchen das Wasser abwärts flieſst.

Das Wasser tritt in solche unter einem Drucke ein, der dem Wasserstande über der Einfluſsöffnung entspricht, und nur sehr geringe ist, wenn letzterer nur eine unbedeutende Höhe hat. Beim Durchflieſsen der Röhre erfährt aber die Masse die Beschleunigung durch die Schwere, und die in verschiedenen Höhen befindlichen Theile derselben würden mit zunehmender Geschwindigkeit herabfallen, wenn sie sich von einander trennen könnten. Dieses wird aber durch den Druck der atmosphärischen Luft verhindert, der innerhalb seiner Grenze die Bildung von luftleeren Räumen verhindert. Sollte aber in der Röhre noch Luft vorhanden sein, so würde diese mit dem Wasser zugleich fortgerissen werden, so daſs die ganze

Röhre in Kurzem sich mit Wasser füllte. Die darin befindliche Masse ist also innig verbunden, und da die Querschnitte überall gleich grofs sind, so müssen sich auch überall gleiche Geschwindigkeiten darstellen. Das neu hinzutretende Wassertheilchen, wenn es auch von oben her nur einen geringen Druck erfährt, mufs demnach in Folge der daran hängenden Wassersäule sogleich eine starke Geschwindigkeit annehmen, und es wird während des Durchganges durch die Röhre nicht sowol gedrückt, als vielmehr gezogen. In horizontalen Leitungen sind die Wände dem Drucke von innen nach aufsen, in diesen vertikalen dagegen einem solchen von aufsen nach innen ausgesetzt. In einem hiermit verbundenen Piezometer steigt das Wasser nicht aufwärts, sondern die Luft wird durch die Oeffnung hineingetrieben, und kehrt man die Röhre abwärts, so wird bis zu einer gewissen Höhe sogar Wasser angesogen.

Die Bildung des negativen Druckes in solchem Falle war bereits früher verschiedentlich zur Sprache gebracht, doch war die Frage, welchem Gesetze diese Bewegung folge, bisher nicht beantwortet. Vielleicht erwartete man, dafs dieselben Gesetze, wie bei horizontalen Röhren, auch auf vertikale Anwendung fänden.

Dieses ist aber keineswegs der Fall. Einige Versuche, die ich mit engen Röhren von verschiedenen Längen und Weiten anstellte, gaben folgende Resultate. Indem ich mehrere Röhren von gleicher Weite mit einander verband, so ergab sich, dafs die Geschwindigkeitshöhe sehr nahe der Geschwindigkeit entsprechend sich darstellte. Der Contractions-Coefficient ergab sich nämlich gleich 0,987 also fast gleich 1. Ferner war der übrigbleibende Theil der Druckhöhe, nämlich die Widerstandshöhe augenfällig der ersten Potenz der Geschwindigkeit proportional, obgleich letztere so grofs war, dafs in denselben horizontal gelegten Röhren das Glied, welches c^2 enthält, schon überwiegend grofs geworden wäre. Auch der austretende Strahl zeigte keine Schwankung noch Bewegung in der Oberfläche. Hieraus würde folgen, dafs in diesem Falle keine innern Bewegungen eintreten.

Ueberraschend war die Beziehung zwischen der Geschwindigkeit und der Weite der Röhre. Oben ergab sich aus sehr verschiedenen Beobachtungen, dafs dasjenige Glied, welches im Ausdrucke für die Widerstandshöhe die erste Potenz der Geschwindigkeit zum Factor

hat, im Nenner die zweite Potenz des Röhrendurchmessers enthält. Hier dagegen verwandelt sich D^2 in $\sqrt{D}$. Aus den Beobachtungen ergab sich der wahrscheinlichste Werth des Exponenten von D gleich $-\frac{1}{2}$. Indem ich aber der gröfseren Sicherheit wegen schliefslich noch versuchte, die Exponenten -2, -1 und $-\frac{1}{2}$ einzuführen und darnach die wahrscheinlichsten Werthe der Constanten berechnete, fand ich die Summen der übrigbleibenden Fehlerquadrate beziehungsweise gleich 3787, 302 und 56,8. Nur im letzten Falle zeigten sich die Fehler als zufällige, während sie in beiden ersten regelmäfsig zu- oder abnahmen.

Indem Rheinländisches Zollmaafs zum Grunde gelegt wird, war die Widerstandshöhe

$$H = 151\,\frac{cL}{\sqrt{D}}$$

Ausgedehntere Beobachtungen werden vielleicht zur Erklärung dieser eigenthümlichen Verhältnisse führen.

Bisher war nur von geraden cylindrischen Röhren die Rede, es läfst sich aber bei gröfseren Leitungen nicht vermeiden, dafs zuweilen die Richtungen derselben geändert, also Krümmungen darin angebracht werden müssen. Welchen Einflufs diese auf die Bewegung des Wassers ausüben, ist vielfach untersucht worden. Dubuat stellte darüber verschiedene Beobachtungen an, und leitete daraus ein Gesetz ab, das auch Eytelwein und d'Aubuisson mit einigen Aenderungen gelten liefsen. Dasselbe beruht auf der Voraussetzung, dafs gewisse Bricolirungen gegen die Röhrenwand eintreten, zu deren Darstellung ein namhafter Theil des Wasserdruckes verwandt wird. Um diesen zu finden wird vorausgesetzt, dafs der mittlere Faden im anschliefsenden geraden Schenkel der Röhre sich wie ein Lichtstrahl vor einer spiegelnden Fläche bewegt, und demnach beim Begegnen der Röhrenwand unter demselben Winkel, mit dem er aufstöfst, auch wieder reflectirt wird. Trifft er aber bei stärkerer Krümmung zum zweiten Male die Wand, so wiederholt sich dieselbe Brechung, bis die Linie endlich ungefähr mit der Achse des folgenden geraden Stranges zusammenfällt. Die Widerstandshöhe, welche durch diese Brechungen bedingt wird, soll bei gleicher mittlerer Geschwindigkeit proportional sein der Summe der Quadrate von dem Cosinus derselben Anprallungs- oder Polygonal-Winkel. Diese Winkel werden aber augenscheinlich um so

gröſser, je näher die Mittellinie an der Wand liegt, oder je enger die Röhre ist. Bei sehr engen Röhren ist der Polygonal-Winkel nahe zwei Rechten gleich, also der Cosinus des halben Winkels verschwindend klein, bei weiteren Röhren wächst seine Gröſse, und wenn er sich hier auch nicht so oft wiederholt, so ist jene Summe doch im ersten Falle meist beträchtlich kleiner, als im zweiten. Es sollen also bei gleichen Krümmungen die betreffenden Widerstände in der weiten Röhre gröſser sein, als in der engen, was an sich höchst unwahrscheinlich ist. Die ganze Vorstellung, daſs der mittlere Faden die übrigen kreuzt und gegen die Röhrenwand stöſst, ist aber durchaus unzulässig und wird durch die unregelmäſsigen innern Bewegungen augenscheinlich widerlegt. Letztere lassen sogar vermuthen, daſs sanfte Krümmungen gar keinen vermehrten Widerstand verursachen. Ein Versuch bestätigte dieses. Eine Bleiröhre von 4 Linien Durchmesser und 8 Fuſs Länge führte unter verschiedenen Druckhöhen genau dieselben Wassermengen ab, während sie gerade war, und nachdem ich sie vorsichtig so gebogen hatte, daſs sie einen vollen Kreis bildete. Bei schärferer Biegung änderte sich freilich die Erscheinung, und die Wassermengen wurden etwas geringer, aber es waren dabei auch die Querschnitte verändert und hatten elliptische Formen angenommen und sich dabei verkleinert. Hiernach darf man wohl voraussetzen, daſs mäſsige Krümmungen in einer Leitung ohne Einfluſs sind, besonders wenn die Röhre weit ist, und die innern Bewegungen sich darin stark ausgebildet haben.

Aehnlich verhält es sich auch mit Verengungen, die stellenweise in einer Leitung vorkommen. Wo sich solche befinden, muſs das Wasser augenscheinlich eine stärkere Geschwindigkeit in der Richtung der Röhre annehmen, aber eben diese stärkere Geschwindigkeit wird weiter abwärts wieder zur Ueberwindung der Widerstände in der Röhre verwandt. Ich brachte in der Mitte einer cylindrischen Röhre eine starke Verengung an. Dieselbe hatte auf die bei gewissem Drucke hindurchhflieſsende Wassermenge nur einen sehr geringen und kaum merkbaren Einfluſs. Als ich jedoch dieselbe Sperrung an das Ende der Röhre verschob, verminderte sich die hindurchflieſsende Wassermenge sogleich sehr bedeutend, weil die groſse Geschwindigkeit, die sich daselbst bildete, nunmehr die Bewegung des Wassers in der Röhre nicht mehr befördern konnte, also die darauf verwendete lebendige Kraft vollständig verloren war.

Die Ansicht, daſs jede Verengung der Röhre einen Verlust an Druckhöhe bedingt, welcher der Vergröſserung der Geschwindigkeit entspricht, ist daher nicht als richtig anzusehn, doch fehlt es in dieser Beziehung so sehr an entscheidenden Erfahrungen, daſs sich zur Zeit auch keine andere Auffassung der Erscheinung begründen läſst.

Bei Erwähnung der wichtigeren Gesetze über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen darf die Verschiedenheit des Druckes auf die Wände der Röhren bei wechselnder Geschwindigkeit des Wassers, nicht mit Stillschweigen übergangen werden, indem man hierin nicht nur ein Mittel gefunden hat, den Betrieb der Röhrenleitungen zu controlliren, sondern man dadurch auch den Einfluſs der verschiedenen Unregelmäſsigkeiten in den Röhren ermitteln kann. Endlich aber bestimmt dieser Druck auch die Höhe des Strahles, wenn man einen Springbrunnen durch eine Röhrenleitung speisen will. Daniel Bernoulli stellte zuerst den Grundsatz auf*), daſs der gegen die Röhrenwand ausgeübte Druck gleich sei der Differenz zwischen der ganzen Druckhöhe und derjenigen Höhe, welche der Geschwindigkeit des Wassers an der fraglichen Stelle der Röhrenleitung entspricht. Indem nämlich nur die Geschwindigkeit parallel mit der Achse der Röhre berücksichtigt wird, so trifft das bewegte Wasser nicht die Röhrenwand, und folglich verschwindet der Druck derjenigen Wasserhöhe, welche die Geschwindigkeit erzeugt. Die Erfahrung bestätigt dieses hydraulico-statische Princip, wie Bernoulli es nennt, vollständig, wenn man eine nothwendige Aenderung in dem Werthe der ganzen Druckhöhe anbringt, die Bernoulli auch selbst angiebt. Wenn nämlich eine Stelle der Röhrenwand untersucht wird, deren Abstand vom Speisebassin gleich a ist, so kann auf selbige nicht mehr die ganze Druckhöhe wirken, sondern ein Theil der letztern ist bereits consumirt durch die Widerstände, welche bei der stattfindenden Geschwindigkeit auf dem Wege von der Länge a zu überwinden waren. Fur den folgenden Theil der Röhrenleitung sind die Verhältnisse ganz dieselben, als wenn die Röhre bei dem zu untersuchenden Punkte ihren Anfang nähme und die Druckhöhe um diejenige Quantität vermindert wäre, welche der Widerstandshöhe für die Länge a gleichkommt.

Wenn man auf eine cylindrische Leitung eine Reihe von ver-

---

*) *Hydrodynamica, Strasburg 1738. Sect. XII §. 3.*

ticalen und oben offenen Glasröhren kittet, die mit ihr in Verbindung stehn, ohne ihren Querschnitt zu beschränken, so zeigen sie durch die Höhe des Wasserstandes den Druck an, den die Wand an jeder Stelle erfährt. Der Wasserstand in derjenigen Glasröhre, welche zunächst dem Speisebassin sich befindet, stimmt nicht mit dem Niveau des letzteren überein, sondern stellt sich etwas tiefer, und zwar ist die Differenz derjenigen Druckhöhe gleich, die dem Wasser beim Eintritt in die Leitung die Geschwindigkeit mittheilt. In allen folgenden Glasröhren bemerkt man, daſs nach Maaſsgabe der überwundenen Widerstände, also der Länge der dazwischen liegenden Leitung, die Höhe des Wasserstandes abnimmt, bis endlich in diejenige Glasröhre, welche dicht vor die Ausfluſsmündung der Leitung (insofern der Ausfluſs nicht unter Wasser geschieht) gekittet ist, das Wasser gar nicht hineintritt, oder hier der Druck ganz aufhört. Tritt dagegen der Strahl unter Wasser aus, so trifft die gerade Linie, welche die Wasserstände in den Glasröhren verbindet, am Ende der Röhrenleitung das Niveau des Unterwassers. Wäre indessen irgend wo in der Röhrenleitung eine Verengung oder ein Hahn befindlich, der den Querschnitt um eine gewisse Quantität beschränkte, so würde dadurch die Ergiebigkeit etwas ermäſsigt werden und in gleichem Verhältnisse auch die Geschwindigkeit in der Leitung abnehmen. Mit der Geschwindigkeit würde auch die Geschwindigkeitshöhe und ebenso die Widerstandshöhe sich vermindern, und folglich die Wasserstände in allen Glasröhren oberhalb jenes Hahnes steigen, während sie unter sich wieder in einer geraden Linie liegen, bis sie an derjenigen Stelle, wo die Verengung sich befindet, eine auffallende Stufe bilden. Wenn endlich die Röhrenleitung ganz gesperrt wird, so hört die Geschwindigkeit mit allen Widerständen auf und alle Glasröhren oberhalb der abgesperrten Stelle zeigen den Wasserstand des Oberwassers, sowie die unterhalb derselben befindlichen entweder ganz leer werden, oder den Stand des Unterwassers annehmen. Dabei ist freilich die Wirkung der Capillar-Attraction von Einfluſs, doch mäſsigt sich diese sehr, wenn man weitere Glasröhren benutzt.

Auf solche Art geben diese Glasröhren sehr deutlich die Widerstände zu erkennen, welche in der Röhrenleitung vorkommen, und gestatten zugleich durch genaue Messung die Gröſse des Widerstandes zu ermitteln, welchen Krümmungen, absichtliche oder zufällige Sperrungen

und andere Hindernisse in der Röhrenleitung veranlassen. Belanger *) machte zuerst auf diese wichtige Anwendung des Bernoulli'schen Princips aufmerksam, und gemeinschaftlich mit Génieys und Mallet stellte er einige Beobachtungen dieser Art an den Wasserleitungen zu Paris an. Dieselben waren aber so wenig umfassend, dafs sie von keiner Bedeutung sind. Dabei wurde jedoch dem Piezometer solche Einrichtung gegeben, dafs man die Glasröhren nicht bis zur vollen Druckhöhe verlängern durfte. Indem es nämlich nur darauf ankam, den Verlust an Druckhöhe an einer bestimmten Stelle der Leitung kennen zu lernen, so wurden oberhalb und unterhalb derselben Bleiröhren eingesetzt, die man an dieselbe Scale führte und mit vertikal gerichteten Glasröhren versah. Diese waren aber oben nicht offen, vielmehr durch eine gekrümmte Messingröhre luftdicht mit einander verbunden. Die in der letzteren befindliche Luft übte alsdann auf die Wassersäulen in beiden Glasröhren einen gleichen Druck aus, woher die Niveau-Differenz wieder den gesuchten Unterschied des Druckes an beiden Stellen angab. Durch einen angebrachten Hahn konnte man aber soviel Luft ab- und zulassen, dafs die Wasserstände an dem gemeinschaftlichen Maafse sich bequem ablesen liefsen. Fig. 41 auf Taf. III zeigt die Zusammenstellung dieses Apparates.

Eine andere Anwendung von diesem Instrumente machte d'Aubuisson bei der Wasserleitung zu Toulouse, indem er von den Hauptröhren der Leitung dünne Röhren nach dem Geschäftszimmer führte, wo man den Druck beobachten konnte. Je kräftiger die Leitung wirkte, oder je gröfser die Wassermenge war, die sie förderte, um so gröfser mufste die Geschwindigkeit sein, und folglich stellte sich um so niedriger der Wasserstand in der nahe am Anfange der Röhrenleitung aufgestellten Glasröhre. Sobald der Wasserstand aber stieg, so zeigte dieses an, dafs mehrere Hähne geschlossen, oder dafs zufällige Hindernisse eingetreten waren. Dadurch wurden die Beamten in den Stand gesetzt, durch einen Blick auf die Glasröhren die Wirksamkeit der ganzen weit ausgedehnten Röhrenleitung zu controlliren.

Endlich bestimmt sich, wie bereits erwähnt worden, auch die

---

*) *Essai sur les moyens de conduire, d'élever et de distribuer les eaux par M. Génieys.* Paris 1829.

Höhe eines springenden Strahles oder die Geschwindigkeit desselben aus dem Drucke, den das bewegte Wasser gegen die Röhrenwand ausübt. Man muſs, um beide zu ermitteln, wieder die ganze Druckhöhe um diejenige Höhe vermindern, welche für die jedesmalige Geschwindigkeit zur Ueberwindung der Widerstände in der vorhergehenden Röhrenleitung consumirt wird. Es ergiebt sich hieraus, weshalb beim ersten Oeffnen des Hahns der Strahl unter der vollen Druckhöhe, also viel höher steigen kann, als später, wenn das Wasser in der Röhre in Bewegung kommt und dadurch die Widerstände sich bilden, welche die Druckhöhe vermindern. Von der Verminderung der Höhe um den Theil, der zur Erzeugung der Geschwindigkeit in der Leitungsröhre erforderlich ist, kann um so mehr abstrahirt werden, als das Wasser nicht an der Sprungöffnung vorbeiflieſst, sondern in diese hineintritt, also die bereits erlangte Geschwindigkeit sich dem Strahle wieder mittheilt. Die Höhe, zu welcher der Strahl steigt, ist, wie schon früher erwähnt worden, immer etwas geringer als die Druckhöhe. Genau läſst sich nach den wenigen hierüber angestellten Beobachtungen das Gesetz nicht angeben, doch scheint die Differenz beider Höhen proportional zu sein dem Quadrate der Druckhöhe. In dieser Weise bestimmte schon Mariotte *) nach seinen Beobachtungen die Sprunghöhe H in Pariser Fuſsen ausgedrückt durch die Formel

$$h = H + \frac{1}{300} . H^2$$

wobei indessen h nicht die volle Druckhöhe, sondern nur diejenige bezeichnet, welche das Piezometer dicht vor dem Strahle angiebt. Durch Reduction auf Rheinlandisches Fuſs-Maaſs verwandelt sich der Ausdruck in

$$h = H + \frac{1}{290} . H^2$$

Wenn der Strahl nicht durch Oeffnungen in dünner Wand, sondern durch Ansatzröhren austritt, so muſs die dabei stattfindende Verminderung der Geschwindigkeit noch besonders berücksichtigt werden.

*) *Oeuvres de Mariotte.* Leide 1717. *Tome II.* S. 489.

§. 17.
Speisung der Leitungen.

Unter den verschiedenen Wasserleitungen sind besonders diejenigen wichtig, deren Zweck es ist, gröfsere Orte mit reinem Wasser zu versorgen. Von diesen soll hier allein die Rede sein.

In Gebirgsstädten pflegt die Zuführung des Wassers keine Schwierigkeiten zu bieten. Die Quellen und Bäche enthalten schon reines Wasser, man braucht dieses nur in einiger Höhe über der Sohle abzufangen, um das Eintreiben von Sand und Erde zu verhindern. Das Gefälle ist auch gemeinhin so grofs, dafs der Röhrenstrang in ununterbrochener Neigung den höchsten Punkt der Stadt erreicht, und hier einen fliefsendeu Brunnen, auch wohl einen Springbrunnen speist, der ein Bassin füllt, welches sich meist wieder in andere Bassins, an tieferen Punkten ergiefst. Auf diese Art läfst der Quell sich so vertheilen, dafs überall das Bedürfnifs leicht befriedigt werden kann.

Bedeutender werden die Schwierigkeiten, wenn man in weiter Entfernung die Quellen suchen mufs, und wenn diejenigen, die sich nach ihrer Reichhaltigkeit und nach der Beschaffenheit des Wassers zur Speisung der Brunnen am meisten eignen, nur wenig höher als das Niveau der Stadt liegen, oder wohl gar durch tiefe Terraineinschnitte davon getrennt sind. Auch kann es geschehn, dafs alle Quellen und Bäche umher die ganze Wassermenge, die man braucht, nicht liefern. Alsdann bleibt nur übrig, das Wasser aus dem tiefer liegenden Strome künstlich zu heben, und wenn dasselbe, wie gewöhnlich, nicht den nöthigen Grad von Reinheit besitzt, es noch zu klären und zu filtriren, bevor man es durch die Leitungen in der Stadt verbreitet. Das letzte Verfahren, welches schon lange bekannt und zur Speisung einzelner Leitungen benutzt war, hat man in neuerer Zeit auch zur Versorgung ganzer Städte gewählt, und es scheint, dafs dasselbe bei Anwendung der vollkommeneren Maschinen, wie man sie heutiges Tages darstellen kann, die nöthige Wassermenge nicht nur sicher liefert, sondern unter gewöhnlichen Verhältnissen auch minder kostbar ist, als wenn man Bäche und Quellen aus weiter Entfernung herbeiführt.

In früheren Jahrhunderten konnte diese Methode wegen der

mangelhaften Einrichtung und geringen Haltbarkeit der Maschinen keinen Eingang finden, dagegen wurden schon zur Zeit der römischen Republik und noch mehr unter den Kaisern, künstliche Leitungen von Bächen dargestellt, die noch heute an Grofsartigkeit unübertroffen sind. Etwa dreihundert Jahre vor Christi Geburt legte Appius Claudius die erste Wasserleitung an, und als Nerva seine Regierung antrat, wurden, wie Frontinus angiebt, durch neun Leitungen schon über 27 Millionen Cubikfufs Wasser täglich nach Rom geführt, die in 1300 fliefsenden Brunnen ausströmten. Die Anzahl der Leitungen vermehrte sich auch ferner, da namentlich die Einrichtung neuer Bäder das Bedürfnifs immer mehr steigerte. So mögen später bis 50 *) Millionen Cubikfufs nach Rom geführt worden sein, was bei der Anzahl der Einwohner, von etwa einer Million, eine so reichliche Versorgung ist, wie in neuerer Zeit nirgend vorkommt. Von diesen Anlagen sind einige in Wirksamkeit erhalten worden, und Prony schätzte das Wasserquantum, welches die drei Leitungen Aqua Felice, Juliana und Paulina gegenwärtig noch täglich nach Rom führen, auf mehr als 5 Millionen Cubikfufs.

Diese sämmtlichen Anlagen führten das Wasser nicht in Röhren herbei, sondern in Canälen, die also ein stätiges Gefälle in der Richtung der Strömung erhalten mufsten. Ihre Ausdehnung beträgt häufig mehrere Meilen, und die Anlage gewann besonders in dem Falle an Wichtigkeit und gab zur Darstellung grofser Mauermassen und oft zu einer kühnen und reichen Architectur Veranlassung, wenn tiefe Thäler zu überschreiten waren. Man führte alsdann Bogenstellungen quer durch das Thal, die oft mehrfach übereinander standen, und auf diesen liefs man den Canal mit geringem und gleichmäfsigem Gefälle fliefsen. Es sind dieses die Bauwerke, denen man den Namen der Aquäducte beilegt. Die Gesammtlänge der Leitungen bei Rom maafs 55,5 deutsche Meilen, davon waren 48,5 Meilen unterirdisch, 0,5 Meilen lagen wenig über dem Boden und 6,5 Meilen ruhten beim Uebergange über Thäler auf Bogenstellungen.

Dafs man durch Benutzung von Röhren diese Unterbaue hätte entbehren können, leidet keinen Zweifel, denn der starke Druck, der durch die Senkung der Röhrenleitung bis zur Sohle des Thales

*) Sehr eingehend behandelt Rozat de Mandres die Römischen Wasserleitungen. *Annales des ponts et chaussées.* 1858. *II. Sémestre.*

entsteht, treibt das Wasser in dem zweiten Schenkel der Röhre beinahe bis zu derselben Höhe wieder herauf. Man hat dieses Princip in neuerer Zeit verschiedentlich angewendet, z. B. bei der Soolenleitung zwischen Berchtesgaden und Illsang, wo die Röhre an einer Stelle etwa 200 Fuſs sich senkt. Einrichtungen dieser Art sind jedoch, wenn guſseiserne Röhren nicht benutzt werden, sehr kostbar und unsicher. Da solche im Alterthume nicht bekannt waren, so darf man sich nicht wundern, wenn zur Erreichung desselben Zweckes ein anderes Mittel gewählt wurde. Dazu kommt wahrscheinlich noch, daſs man bei den Wasserleitungen, die ihrer Natur nach groſsentheils sehr unscheinbar sind, und sich oft ganz dem Auge entziehn, einige Werke absichtlich anbrachte, welche die Groſsartigkeit des Unternehmens zeigten.

Der Eifer für Einrichtung von Wasserleitungen beschränkte sich indessen keineswegs auf Rom, vielmehr finden sich fast in allen Ländern, die der römischen Herrschaft unterworfen waren, Ruinen von solchen Werken vor. In Constantinopel existiren mehrere Wasserleitungen, von denen einige ohne Zweifel aus jener Periode herrühren. Auf Mytilene, Salamis, sowie in Kleinasien bei Antiochia sind Reste von alten Wasserleitungen vorhanden, letztere bestehn in einem Aquäducte von 200 Fuſs Höhe. Ferner sieht man solche bei Neapel und Pästum, wie auch zu Castellana. Letzterer zeichnet sich durch seine Gröſse aus, indem die Gesammthöhe des Baues in beiden Bogenstellungen bis 190 Fuſs beträgt. Bei Lyon, Metz, Nismes und bei Arcueil in der Nähe von Paris befinden sich alte Wasserleitungen, auch kommen sie in Spanien, namentlich bei Sevilla und Segovia vor, und besonders wichtig ist die bei Lissabon, die sich mehr als 200 Fuſs hoch über die Thalsohle erhebt, sie wurde zwar im vorigen Jahrhunderte erneut, soll aber von Trajan herrühren.

Aehnliche Anlagen wurden auch später und selbst bis gegen die neueste Zeit ausgeführt. Theodorich erbaute um's Jahr 740 den Aquäduct bei Spoleto, der an Höhe und Kühnheit alle älteren übertraf. 10 Spitzbogen von 68 Fuſs Spannung bilden den Unterbau und darüber trägt eine Reihe von 30 kleinern Bogen den Canal, der 410 Fuſs über dem Wasserspiegel des Moragia liegt. Besonders in Frankreich entstanden in den letzten Jahrhunderten noch eine Anzahl solcher Bauwerke, z. B. 1558 der bei Arles über den Crau. 1624 wurde neben den Ruinen des alten Aquäducts bei Arcueil ohn-

fern Paris unter Maria von Medicis ein neuer gebaut. Im 17. Jahrhunderte erbaute man neben Versailles die Aquäducte von Marly und Buc, und es wurde der colossale Aquäduct Maintenon begonnen, der 132 Ruthen lang und 240 Fuſs hoch werden sollte, doch gab man bald wegen der enormen Kosten diesen Bau auf. Nur wenige Bogen der untern Theile sind ausgeführt, während drei derselben übereinander stehn sollten. Endlich muſs noch der Aquäduct bei Montpellier erwähnt werden, den Pitot ausführte.

Ueber Wasserleitungen dieser Art ist in hydrotechnischer Beziehung wenig zu bemerken. Als Beispiel einer solchen Anlage mag eine kurze Beschreibung der Leitung von Arcueil folgen, die noch heute zur Versorgung eines Theiles von Paris mit Wasser dient. Durch grabenförmige Einschnitte, die an den Bergseiten mit trocknen Mauern eingefaſst und oben mit Steinplatten überdeckt sind, wird in den Ländereien der Gemeinden Rungis, Paret und Coutin, etwa drei Lieues südlich von Paris, das Wasser gesammelt und von hier in einer überwölbten Leitung von 3625 Ruthen Länge nach dem Reservoir an der Porte St. Jaques zu Paris geführt. Dieser Canal hat überall ein gleichmäſsiges Gefälle, nämlich 1 : 2400. Er verläſst oft sehr merklich die gerade Richtung, um diejenige Terrainhöhe zu verfolgen, wo er mit den geringsten Kosten und mit der gröſsten Sicherheit angelegt werden konnte. Er liegt beinahe auf seiner ganzen Länge so tief, daſs die Felder darüber bebaut werden, und in gewissen Abständen sind runde massive Thürmchen aufgeführt, welche den Zugang gestatten und den Luftwechsel befördern. Der wichtigste Punkt der Leitung ist der Uebergang über den Bièvre-Bach in der Nähe des Schlosses Arcueil. Der neue Aquäduct daselbst schneidet das Thal rechtwinklig, und zwar an einer besonders schmalen Stelle. Er ist 1240 Fuſs lang, in der Mitte 74 Fuſs hoch und unten 12 Fuſs breit, doch treten die Strebepfeiler zu beiden Seiten noch um einige Fuſs weiter vor. Die Anzahl der Bogenöffnungen beträgt 10, davon ist eine aber nur halb so breit als die übrigen. Der Canal über dem Aquäducte ist 1¼ Fuſs breit und 1 Fuſs tief, ein 2 Fuſs breites Banket liegt an der südwestlichen Seite, und die Höhe des Gewölbes erlaubt es, daſs man bequem darin gehn und die von Zeit zu Zeit erforderlichen Reparaturen und Reinigungen vornehmen kann. In den unterirdischen Strecken, die wahrscheinlich älter sind, verändert sich einigermaaſsen das Profil.

Statt des einen Bankets sind deren zwei angebracht, jedes von 18 Zoll Breite, auch die Höhe der Gallerie vermindert sich, jedoch beträgt sie immer noch 5 bis 6 Fuſs und nur unter einigen Straſsen war man gezwungen, sie noch mehr zu beschränken. Das Gewölbe und die freistehenden Seitenmauern sind aus Hausteinen, die überschütteten Mauern aus Bruchsteinen aufgeführt, und der Canal hat am Boden und an den Seitenwänden einen etwa ½ Zoll starken Ueberzug von hydraulischem Mörtel erhalten. Die Quantität des zugeführten Wassers bestimmte Girard durchschnittlich auf 50 Wasserzoll, oder 1 Cubikfuſs in 3 Secunden.

Sehr wichtig ist die um das Jahr 1847 begonnene Ausführung der Leitung, welche sowol die Stadt Marseille, als deren Umgebung mit Wasser versieht. Ursprünglich beabsichtigte man mit derselben nur die Cultivirung des kahlen Kalkbodens zu befördern, doch entschloſs man sich noch vor dem Beginne der Arbeiten, auch die Brunnen in der Stadt und neben dem Hafen dadurch mit reinem Wasser zu speisen. Der sogenannte Canal von Marseille, der diese Leitung bildet, tritt neben dem Städtchen Pertuis aus der Durance aus, von der er das Wasser entnimmt, und zwar in einer Höhe von 596 Fuſs über dem Meeresspiegel. Indem er, soviel wie möglich, die Abhänge verfolgt, hat er bis zum Reservoir in Marseille die Länge von 12,9 deutschen Meilen erhalten. Das Gefälle ist aber in der Art vertheilt und ihm sind solche Profile gegeben, daſs er 450 Cubikfuſs in der Secunde abführen kann. Dieses Quantum wird ihm zur Zeit aber noch nicht zugewiesen, indem durch 200 Cubikfuſs schon das Bedürfniſs befriedigt wird.

An vielen Stellen ist der Canal unterirdisch geführt, wogegen er vielfach sich auch bedeutend über den Boden erhebt. Letzteres geschieht vorzugsweise in dem groſsartigen Aquäduct von Roquefavour ohnfern der Eisenbahn-Station Rognac, von welcher aus man ihn auch deutlich sehn kann. Er besteht aus drei Bogenstellungen, von denen jede der beiden untern 108, die obere aber 40 Fuſs hoch ist. Die ganze Höhe über der Thalsohle miſst 258 Fuſs und die Gesammtlänge 1428 Fuſs. Der Bau ist aus Quadersteinen ausgeführt, die Rinne, in welcher das Wasser geleitet wird, ist dagegen mit hart gebrannten in Cement versetzten Ziegeln verkleidet. Sie bildet im Profil einen Halbkreis von 4 Fuſs Radius.

Dem Vernehmen nach hat man sich zur Ausführung dieses sehr

kostbaren Baues entschlossen, und die viel wohlfeilere Leitung des Wassers in Röhren durch das Thal nicht gewählt, weil man besorgte, dafs der sehr starke Kalkgehalt eine baldige Sperrung der Röhren veranlassen würde. Nichts desto weniger scheint es, dafs man die Grofsartigkeit der ganzen Anlage auch durch ein imposantes Bauwerk bezeichnen wollte.

In einiger Entfernung von Marseille spaltet sich die Leitung, drei Viertheile der Wassermenge werden in besondern Canälen zum Zwecke von Culturen abgeführt, während nur ein Viertel nach Marseille fliefst. Hier tritt das noch ungereinigte Wasser in der Höhe von 234 Fufs über dem Spiegel des Meeres in ein grofses Bassin, das am Fufse einer natürlichen Anhöhe neben dem botanischen Garten angelegt ist. Aus demselben wird dasjenige Wasser abgeleitet, das zur Spülung und Reinigung der Strafsen dient, aufserdem fliefsen bedeutende Massen an dem Abhange des Felsens und der angeschütteten Erde herab, und geben hier zur Cultur von Sumpf-Pflanzen sehr günstige Gelegenheit. Das zur Versorgung der Häuser bestimmte Wasser wird aber daselbst filtrirt, indem es in das darunter befindliche Filtrir-Bassin tritt. Beide Bassins sind nicht nur überwölbt, sondern auch hoch mit Erde überschüttet, um das darin befindliche Wasser gegen starke Erwärmung zu schützen.

In den Leitungen, welche Constantinopel mit Wasser versorgen, hat man schon in früherer Zeit Röhren angewendet, die oft einem starken Drucke ausgesetzt sind. Auf eigenthümliche Weise wird hier aber die Leitung abwechselnd immer unterbrochen und das Wasser mit der Luft in Berührung gebracht. Um dabei nicht den Vortheil der Druckhöhe zu verlieren, so war es nöthig, diese offenen Bassins in angemessener Höhe anzulegen. Auf solche Art sind beim Durchgange durch Thäler und bei sonstigen Vertiefungen in Abständen von etwa 600 Fufs isolirte Pfeiler errichtet, an welchen das Wasser von der einen Seite in Bleiröhren aufsteigt und sich in die Bassins auf dem Scheitel der Pfeiler ergiefst. Auf der andern Seite fällt es wieder in Bleiröhren nach der Röhrenleitung in der Thalsohle zurück, die aus gebranntem Thon besteht. Durch die Pfeiler, die Suterrazzi heifsen, beabsichtigte man wahrscheinlich, das Auffinden schadhafter Stellen zu erleichern, theils aber vertreten sie auch die Stelle von Luftspunden oder Luftröhren, die freilich nach dem, was im Folgenden darüber gesagt werden soll,

sich auf andere Art einfacher einrichten lassen. Auf höherem Terrain fliefst das Wasser nicht in Röhren, sondern in offenen Leitungen.

Weit unscheinbarer als die erwähnten Einrichtungen sind die Leitungen, welche manche Städte in der Provinz Preufsen mit Wasser versorgen. Man pflegt dieselben sämmtlich Copernicus zuzuschreiben. Bei Frauenburg, wo Copernicus Domherr war, ist das Flüfschen Baude etwa drei Viertel Meilen oberhalb seiner Mündung in das Frische Haff abgefangen und in einem Canale längs dem flachen Abhange des Thalrandes nach der Stadt geleitet worden. Hier durchfliefst es die Hauptstrafse des Städtchens und treibt unter dem Hügel, worauf der Dom steht, eine Mahlmühle. Daneben befand sich in früherer Zeit noch ein Pumpwerk, das einen Theil des klaren Wassers auf den Domhof hob. Der massive Thurm, der die Wasserkunst einst enthielt, steht noch, doch ist die Maschine bei einem Brande zerstört und seitdem nicht wieder hergestellt. Auf ähnliche Art wird die Stadt Danzig mit trinkbarem Wasser aus der Radaune versehn.

Besonders wichtig ist die weit ausgedehnte Leitung, welche Königsberg mit Wasser versorgt. Zwei Canäle, der Landgraben und der Wirrgraben genannt, führen das Wasser, das sich nordwestlich von Königsberg auf einem Flächenraume von etwa zwei Meilen sammelt, in ein weites Bassin am nördlichen Rande der Stadt. Dieser künstliche See, der Oberteich genannt, hat eine Ausdehnung von etwa 300 Morgen, und ist durch Schliefsung eines Thales entstanden, doch erhebt sich das Wehr oder der Damm, der das Wasser aufstaut, nicht nur bis zur Höhe der natürlichen Thalufer, sondern sogar über dieselben, und seine Seitenflügel erstrecken sich aufwärts, um einen Stau bis über die Terrainhöhe zu gewinnen. So geschieht es, dafs der Wasserspiegel des Sees höher liegt, als jeder Theil von Königsberg. Er befindet sich 70 Fufs über dem mittleren Stande des Pregels, und der Schlofsteich, der innerhalb der Stadt einen zweiten künstlichen See in demselben Thale bildet und sich bis an den Fufs des ersten Dammes erstreckt, liegt 36 Fufs unter dem Oberteiche. Zwei Reihen von Mühlen, eine grofse Menge von Brunnen, die zum Theil fliefsende Brunnen sind, und mehrere Springbrunnen werden durch diese Wasserleitung gespeist. Der letzte Theil der Anlage zeigt indessen nicht Bemerkenswerthes, wohl aber ist dieses

der Fall mit den beiden oben erwähnten Speisegräben und namentlich mit dem Landgraben. Dieser leitet drei gröfsere Bäche, die auf der Wasserscheide zwischen der Ostsee und dem Haffe oder dem Pregel entspringen, nach dem Oberteiche, und indem er sich am südlichen Abhange der Anhöhe hinzieht, mufste er nach der Aufnahme des ersten Baches noch die Thäler der beiden folgenden überschreiten. Es trat also hier dieselbe Schwierigkeit ein, deren bereits Erwähnung geschehn ist, und die Art, wie sie hier überwunden wurde, ist von den bezeichneten Methoden wesentlich verschieden. Die Thäler sind nämlich dicht unterhalb des Landgrabens durch Dämme geschlossen, so dafs der Bach, der sie bildet, sich davor soweit aufstaut oder zu grofsen Teichen ausdehnt, bis er hoch genug angeschwollen ist, um in der Fortsetzung des Landgrabens nach Königsberg zu fliefsen. Die Teiche sind niemals Mühlenteiche, wohl aber treiben die Bäche weiter oberhalb oder unterhalb verschiedene Mühlen, und in den erwähnten Dämmen befinden sich Freiarchen, um bei starken Anschwellungen ein Ueberströmen und sonach ein Durchbrechen der Dämme zu verhindern. Diese Methode gewährt den Vortheil, dafs nicht nur die Ausführung der kostbaren Aquäducte entbehrlich wird, sondern auch die Wassermengen von allen Bächen der Leitung zugeführt werden, welche diese durchschneidet. Dabei werden freilich sehr bedeutende Flächen Landes der Cultur entzogen und man würde deshalb heut zu Tage bei einer ähnlichen Anlage von diesem Mittel keinen Gebrauch machen dürfen. Endlich ist noch zu erwähnen, dafs der Graben mit sorgfältiger Beachtung der Terrainhöhe gezogen und auf der südlichen Seite mit einer niedrigen Verwallung eingefafst ist. Seine mittlere Breite beträgt etwa 18 Fufs und seine Tiefe 2 Fufs, die Geschwindigkeit der Strömung fand ich einst 9 Zoll in der Secunde.

Als London nach und nach an Ausdehnung gewann, und wegen der engeren Bebauung des alten Theiles der Stadt die Brunnen ihre frühere Ergiebigkeit verloren, auch die kleineren Pumpwerke, die namentlich an der alten Londonbrücke existirten, sich als unzulänglich erwiesen, trat 1606 und 1607 eine Actiengesellschaft zusammen, um die Flüfschen Chadwell und Amwell in Herfordshire nach London zu leiten und deren Wasser daselbst zu vertheilen. Das Vertrauen zu Unternehmungen dieser Art war indessen damals noch so geringe, dafs nur das Anerbieten eines gewissen Hugh Myd-

delton, die ganze Anlage auf eigne Gefahr und Kosten auszuführen, den Beginn der Arbeiten veranlaſste. Die Kosten stellten sich aber viel höher, als man erwartet hatte, und als die Mittel erschöpft waren, auch die Communal-Behörden jeden Beitrag verweigerten, bewilligte Jacob I. die nöthigen Summen. Am 29. September 1613 füllten sich zur allgemeinen Verwunderung und Freude der Einwohner die Reservoire in New-River-Head im Kirchspiel Clerkenwill. Jetzt erst, nachdem der Erfolg gesichert war, trat die Gesellschaft zusammen und im Jahre 1619 wurde sie gesetzlich bestätigt. Die aufgefangenen Quellen sind in gerader Linie 20 engl. Meilen von London entfernt, die Länge des Canals beträgt aber 38¼ engl. oder 8¼ deutsche Meilen, indem die Unebenheit des Terrains vielfache Krümmungen nothwendig machte. Die Breite des Canals ist durchschnittlich 18 Fuſs und die Tiefe sollte 5 Fuſs messen. Das Gefälle beträgt 3 Zoll auf die engl. Meile oder 1 : 21120. Unter den ausgeführten Werken befanden sich auch mehrere Brückencanäle, die aber, da sie nur aus Holz erbaut und durch eine Ausfütterung mit Bleiplatten gedichtet waren, bald schadhaft wurden, und die man nach und nach durch massive Durchlässe ersetzte. Die erwähnten beiden Flüſschen genügten indessen bald nicht mehr für die immer gröſsere Ausdehnung der Leitungen in London, und da der Leafluſs unmittelbar neben dem Canale oder dem New-River ausströmte, so wurde auch dieser zur Speisung des letzteren benutzt und groſse Wassermengen aus demselben der Wasserleitung zugeführt. Dieses Verfahren hatte man mehrere Jahre hindurch schon angewendet, als die Lea-Schiffahrtsgesellschaft darüber Klage erhob. Nach langen Debatten wurde endlich ums Jahr 1738 die Berechtigung zur Entnehmung gewisser Wassermassen aus dem Lea durch einen Beschluſs des Parlaments festgestellt.

Um das Wasser in dem New-River rein zu erhalten, hatte die Gesellschaft schon lange durch eine Bill die Bestimmung ausgewirkt, daſs niemand Steine, Erde, Schmutz, todte Thiere oder thierische Stoffe, noch sonst irgend welche nachtheilige Körper hineinwerfen, ferner daſs niemand Wolle, Hanf, Flachs oder irgend welche ungesunde oder unreine Stoffe darin waschen, und endlich, daſs niemand die Anlage beschädigen oder ohne besondere Erlaubniſs daraus Wasser entnehmen sollte. Einen sehr groſsen Uebelstand verursachte der Reiz, in dem klaren und frischen Wasser des New-River zu

baden. Um dieses abzustellen, erbot sich die Gesellschaft, zu Freibädern das Wasser unentgeltlich zu liefern, falls die Stadt London die Kosten für die Einrichtung derselben übernähme. Der Vorschlag fand indessen nicht Eingang und sonach dauert der Mifsbrauch noch fort. Die Gesellschaft läfst freilich durch ihr Aufsichtspersonal das Baden möglichst verhindern, wenn aber jemand dabei betroffen wird, so kann er nicht bestraft werden, weil der einzige Rechtstitel, der eine Klage begründen würde, der Einbruch in fremdes Eigenthum wäre, und da hierauf Deportation steht, so wird durch Billigkeitsrücksichten jede weitere Verfolgung abgeschnitten. Auf jede vier Meilen Länge des Canals ist ein Aufseher angestellt, der namentlich darauf achten mufs, dafs die benannten Bestimmungen in Bezug auf die Reinhaltung des Wassers nicht übertreten werden. Das Unkraut wird regelmäfsig geschnitten, und um alle schwimmenden Körper aufzufangen, sind stellenweise Drahtnetze durchgezogen, die aber jedesmal in einer Erweiterung des Bettes liegen, damit hier die Geschwindigkeit sich mäfsigt und sonach die Körper um so sicherer aufgefangen werden. An diesen Stellen schlägt sich auch vorzugsweise der im Wasser schwebende Schlamm nieder, woher hier vierteljährlich eine Reinigung vorgenommen wird.

Es bleibt noch übrig, von denjenigen Wasserleitungen zu sprechen, welche nicht durch hochgelegene Quellen oder Bäche, sondern mittelst Pumpwerken aus Strömen gespeist werden. Anlagen dieser Art sind am wenigsten von den Localverhältnissen abhängig, sie lassen sich überall ausführen, und gestatten auch jede beliebige Ausdehnung, indem die Wassermenge, die man braucht, jedesmal disponibel ist, und es nur darauf ankommt, die Schöpfmaschinen darnach einzurichten. Die Kostbarkeit der Maschinen, sowol in der ersten Anlage, als der Unterhaltung, setzt indessen dieser Methode oft Hindernisse entgegen, während man vielfach nach den chemischen Untersuchungen des Wassers grofser Ströme darin Bestandtheile findet, welche der Gesundheit nachtheilig sein könnten. Obwohl Bedenken dieser Art sich dadurch widerlegen, dafs dasselbe Wasser, und zwar nicht filtrirt, Jahrhunderte hindurch zur Zubereitung von Speisen ohne wahrnehmbaren Nachtheil benutzt ist, so ist man doch in neuerer Zeit in dieser Beziehung hin und wieder besonders vorsichtig geworden, indem man vermuthet, dafs selbst sehr

geringe schädliche Beimengungen die Verbreitung der Cholera befördern könnten.

Zuweilen besorgt man auch, dafs an den Wasserhebungs-Maschinen leicht Beschädigungen vorkommen, und die Wasserleitung unterbrechen möchten. Gewifs ist bei schlechten Maschinen diese Besorgnifs sehr begründet, und hat man daher in früherer Zeit auch oft Bedenken getragen, hiervon Anwendung zu machen. Die grofse Vollkommenheit, die man gegenwärtig den Maschinen geben kann, vermindert indessen so sehr die Wahrscheinlichkeit einer möglichen Stockung, dafs man dieselbe und vielleicht noch eine gröfsere Sicherheit erreicht, als wenn das Wasser sich mit seinem natürlichen Gefälle bewegt.

Schon im Jahre 1724 wurden die Chelsea Water-Works unterhalb London eingerichtet, die durch Dampfmaschinen gespeist werden. Die meisten übrigen Leitungen entstanden erst in diesem Jahrhunderte. Hierher gehören die West-Middlesex Water-Works, die bei Hammersmith das Wasser aus der Themse schöpfen. Die Grand Junction-Company mufste sich wegen der Unbrauchbarkeit des Wassers des Brent und Colne-Flusses, die den Grand Junction-Canal speisen, gleichfalls entschliefsen, aus der Themse und zwar in der Nähe von Chelsea zu schöpfen. Die Southwark Water-Works heben innerhalb der Stadt das Wasser aus der Themse, ebenso die Lambeth Water-Works und South London Water-Works. Nur die unter dem Namen des New-River bekannte Leitung, von der bereits die Rede war, führt noch Quellwasser nach London und zwar zum Theil mit Benutzung des natürlichen Gefälles. Nichts desto weniger mufsten auch hier noch mehrere Dampfmaschinen eingerichtet werden, um theils die höheren Theile der Stadt vorsorgen zu können, theils aber auch um grofse Hülfs-Bassins zu füllen, so oft der New-River bei anhaltendem Froste seine Zuflüsse verliert, oder eine Sperrung und Trockenlegung desselben wegen vorzunehmender Reparaturen oder Reinigungen nothwendig wird.

Auch in Frankreich werden die Wasserleitungen häufig durch Pumpwerke aus Flüssen gespeist. Zunächst mufs hier die berühmte Maschine bei Marly erwähnt werden, die an Steighöhe alle übrigen übertrifft, wenn man nicht etwa die Soolenleitung bei Berchtesgaden damit in Parallele stellen will. Vierzehn Wasserräder hoben in früherer Zeit in drei Absätzen das Wasser auf die Wasser-

leitung bei Marly. Jedes Rad trieb zunächst die Sauge- und Druckpumpen, die das Wasser in das 100 Toisen entfernte Reservoir auf 150 Fuſs hoben, sodann das Gestänge, welches hier die zweite Druckpumpe bewegte, die das zweite Reservoir füllte. Dieses lag 224 Toisen davon entfernt und 175 Fuſs höher, und endlich die Fortsetzung des Gestänges, das eine dritte Pumpe trieb. Diese hob das Wasser um 177 Fuſs nach dem 290 Toisen entfernten Aquäducte. Die ganze Länge der Steigröhren betrug demnach 3813 rheinl. Fuſs und das Wasser wurde 520 rheinl. Fuſs gehoben. Die Maschine wurde 1682 in Thätigkeit gesetzt, die vielfachen Reparaturen, die daran vorkamen, waren indessen Veranlassung, daſs man bei der zunehmenden Vervollkommnung des Maschinenbaues auch vielfache Aenderungen und Vereinfachungen einführte. 1823 waren fünf Wasserräder gänzlich beseitigt, und von den übrigbleibenden neun, die zwar sauber ausgeführt, jedoch nur sehr unvollkommen angeordnet waren, befanden sich nur zwei in regelmäſsigem Betriebe. Die hölzernen Röhren waren damals durch eiserne ersetzt worden und die Gestänge und Pumpen auf dem Ufer existirten nicht mehr. Die Pumpen hoben mit einem Male das Wasser auf die ganze Höhe von 520 Fuſs, und so aufmerksam ich auch die Röhrenleitung am Fuſse des Ufers untersuchte, konnte ich doch keine Stelle entdecken, wo das Wasser durchschwitzte. Man baute damals das Gebäude für eine Dampfmaschine, welche die Wasserräder ersetzen sollte.

In Paris selbst existirten schon seit langer Zeit einige Pumpwerke, welche durch die Seine getrieben wurden und das Wasser der Seine in die nächste Umgebung leiteten. Hieher gehört das Werk auf Pont Neuf, gewöhnlich nach einer Sculptur am flieſsenden Brunnen die Samaritanerin genannt, und ebenso ein anderes Werk auf Pont Notre Dame. Beide beschreibt Bélidor. Späterhin sind manche andere Anlagen hinzugekommen, die zum Theil mit keinen ausgedehnten Leitungen in Verbindung stehn, und von denen das gehobene Wasser, nachdem es gereinigt ist, gesammelt und verkauft wird. Besonders wichtig sind die Dampfmaschinen Chaillot und Gros-Caillou, welche am rechten und linken Seineufer kurz vor deren Austritt aus Paris das Wasser schöpfen und groſse Theile der Stadt damit versorgen. Die erste hebt das Wasser 118 Fuſs hoch in die ausgedehnten Reservoire auf der Anhöhe hinter den Elyseischen Feldern. Die Maschine Gros-Caillou am linken Seineufer ist

viel unbedeutender, und giefst das gehobene Wasser in ein kleines Bassin aus, welches etwa 100 Fufs über dem Spiegel der Seine in einem Thurme auf dem Maschinengebäude selbst angebracht ist. Der gröfste Theil von Paris wird durch den Ourcq-Canal gespeist, der zugleich Schifffahrts-Canal ist, bei seiner ersten Eröffnung aber in der einen Beziehung, wie in der andern, so viele Mängel zeigte, dafs er im Laufe der Zeit wesentlich verändert werden mufste.

Wichtig ist die in den Jahren 1822 bis 1828 unter d'Aubuisson's Mitwirkung ausgeführte Wasserleitung in Toulouse, deren nähere Beschreibung daher nachstehend mitgetheilt wird *). Veranlassung zu derselben gab das Vermächtnifs eines Einwohners der Stadt, wodurch die Kosten jedoch nur zum kleinsten Theile gedeckt wurden, während die Commune dieselben grofsentheils übernahm.

Zunächst war zu entscheiden, ob man das Wasser aus der Garonne neben der Stadt durch Pumpwerke heben, oder es vielleicht von oberhalb durch künstliche Canäle mit Benutzung des natürlichen Gefälles herbeiführen sollte, wobei auch auf andere Quellen Rücksicht genommen werden konnte. Die meisten Stimmen des Stadtrathes waren für das letzte Project und zwar aus dem Grunde, weil man meinte, dafs die Maschinen häufig ihren Dienst versagen würden, d'Aubuisson wufste indessen durch Aufführung von Beispielen an andern Maschinen diese Zweifel zu beseitigen und man entschied sich für das Pumpwerk, doch wurde bestimmt, dafs deren zwei und zwar unabhängig von einander eingerichtet werden sollten, damit bei zufälligen Beschädigungen doch immer eins im Gange erhalten werden könnte. Was die Wahl der Betriebskraft betrifft, so entschied man sich mit gutem Grunde für die Wasserkraft, da diese hier vorhanden war und sogar zwei Stauwerke neben der Stadt hinter einander existirten, die man benutzen konnte, während die Kosten für die Beschaffung der Feuerung bei einer Dampfmaschine sehr ansehnlich gewesen wären. Endlich wurde noch die Quantität des zu hebenden Wassers ermittelt und diese auf 200 Wasserzoll, d. h. auf 124000 rheinl. Cubikfufs in 24 Stunden festgestellt. Diese Wassermasse mufste 20 Meter oder 63¾ Fufs gehoben werden, um alle Theile der Stadt versehn zu können.

---

*) *Histoire de l'établissement des fontaines à Toulouse. Annales des ponts et chaussées.* 1838. II.

Nachdem die Hauptbedingungen festgestellt waren, wurde der Weg der Concurrenz eröffnet und dem Verfasser desjenigen Projects, welches gewählt werden würde, die Ausführung der Arbeit und eine Vergütung von 5 Procent der wirklichen Anlagekosten zugesichert. Es gingen mehrere Projecte ein, doch nur eines darunter zeichnete sich durch sorgfältige Bearbeitung und eine sehr zweckmäfsige und dem neueren Zustande des Maschinenbaues entsprechende Anordnung der ganzen Anlage aus. Es war von dem in Toulouse wohnenden Maschinenbauer Abadie aufgestellt. Für dieses entschied sich die Commune.

Von den beiden Stauanlagen, die neben der Stadt vorhanden waren, wählte man zum Betriebe des Werkes die untere und zwar theils wegen der gröfseren Festigkeit des daselbst liegenden Wehrs, und theils wegen der gröfseren Räumlichkeit, wozu noch kam, dafs man hier dem Angriffe des Stromes nicht ausgesetzt war. Diese Vortheile waren überwiegend gegen die, welche das obere Wehr geboten hätte, letztere bestanden aber in der bedeutend gröfseren Nähe am Haupttheile und zugleich dem höchsten Theile der Stadt und in der Gewinnung des oberen Staues für die Steighöhe. Die Maschine wurde dicht oberhalb der steinernen Brücke und zwar an das linke Ufer der Garonne gestellt, während Toulouse gröfstentheils am rechten Ufer liegt. Das Wasser zum Betriebe der Maschinen wird durch einen überwölbten Canal von 7½ Fufs Breite, 5¼ Fufs Höhe und 11 Ruthen Länge zugeführt, und fliefst durch einen andern Canal, der im Ganzen 297 Ruthen lang ist, nach der Rhone zurück. Der nächste Theil desselben von 200 Ruthen Länge verfolgt die Strafsen der Vorstadt St. Cyprien, und mufste daher überwölbt werden. Seine Breite beträgt hier 6¼ Fufs und seine Höhe 5½ Fufs. Diese Anlage war sehr schwierig, insofern die Sohle oft mehr als 30 Fufs unter das Strafsenpflaster traf. Der folgende Theil des Canals von 97 Ruthen Länge, der in freiem Felde befindlich ist, konnte als offener Graben dargestellt werden. Das ganze Gefälle zwischen der obern und untern Mündung des Canals beträgt zur Zeit des niedrigen Sommerwasserstandes 17 Fufs 5 Zoll, wovon auf das nutzbare Gefälle 9 Fufs 3 Zoll treffen, während der Rest theils zur Räusche dient, theils aber auch bei passendem Wasserstande eine Säge-Mühle treibt.

Die Pumpen heben das Wasser nicht unmittelbar aus der Ga-

ronne, vielmehr aus Canälen neben derselben. Beim Eintritt in die letzteren ist es bereits filtrirt, woher es sogleich in die Leitungen vertheilt werden kann. Ueber die hier eingerichteten natürlichen Filter wird im Folgenden ausführlich die Rede sein.

Die Anordnung der Räder, Pumpen und Steigröhren ergiebt sich aus den Figuren 71, *a*, *b*, *c* und *d* auf Taf. V., welche die Seitenansicht, den Durchschnitt und zwei Grundrisse der Anlage darstellen. Das Gebäude besteht aus einem runden Thurme, den unten eine überwölbte Gallerie umgiebt. In letzterer liegen die beiden Wasserräder mit ihren Gerinnen, ferner die Bassins, die acht Pumpen mit ihren Balanciers und überhaupt die ganze Maschinerie. Der Thurm enthält dagegen die Steigeröhren und Abfallröhren, sowie in seinem obern Theile das kreisförmige Bassin, zu dem das Wasser gehoben wird und den Apparat zum Messen des Wassers. Bei *A* (Fig. 71, *c*) tritt das Betriebswasser in die erwähnte Gallerie hinein, zwei Canäle, die rechts und links abgehn, führen es nach den Kropfgerinnen der beiden Räder und ein dritter schmalerer Canal durchschneidet diametral das ganze Gebäude. Letzterer dient dazu, der unterhalb belegenen Sägemühie den nöthigen Wasserzuflufs zu sichern, falls wegen Reparaturen, oder aus andern Gründen nur eine der beiden Wasserhebungsmaschinen benutzt wird, und sonach das eine Gerinne geschlossen bleibt. Dicht unterhalb des Gebäudes bei *B* vereinigen sich wieder die drei Gerinne und bilden gemeinschaftlich den überwölbten Untercanal. Das gereinigte Wasser, welches durch die Pumpen gehoben werden soll, tritt bei *C* in das Gebäude und fliefst in einem gemauerten Canale unter den drei Canälen, die hier noch Oberwasser enthalten, bis gegen die äufsere Umfassungsmauer bei *D*. Es fällt durch Verbindungsröhren in vier Bassins *E*. Letztere stehn durch andere Röhren wieder mit den Untercanälen in Verbindung und man kann durch acht Ventile jedes einzelne derselben beliebig mit dem filtrirten Wasser füllen, oder trocken legen. In jedem der beiden Gerinne hängt ein Wasserrad von 18½ Fufs Höhe und 4 Fufs Breite. Diese Räder bestehn mit Ausnahme der Schaufeln aus Gufseisen und sind Kropfräder, jedoch nach Art der Strauberräder so gebaut, dafs die Schaufeln auf der Stirn der beiden Kränze stehn, wodurch der Spielraum zwischen den Schaufeln und dem Gerinne verringert wird. Die gufseiserne Welle jedes Rades ist an jedem Ende mit einer Scheibe und Krummzapfen versehn und diese treiben

mittelst der Lenkstangen die Balanciers. Letztere sind 9 Fuſs lang und tragen an jedem Ende Kreisbogen, worauf die Ketten liegen, welche die Pumpenstangen heben. Auf solche Art treibt jede Maschine vier Pumpen. Sie sind Druckpumpen, doch haben sie nicht gewöhnliche Kolben, die in ausgebohrten Stiefeln sich bewegen, sondern sogenannte Plungerkolben aus hohlen bronzenen Cylindern von 10½ Zoll Durchmesser. Die Hubhöhe beträgt etwa 2 Fuſs. Die Art, wie diese Kolben gehoben werden, erlaubt es nicht, sie durch die Maschine selbst herabzustoſsen, zu diesem Zwecke muſsten sie vielmehr besonders beschwert werden. Dieser Umstand war in dem Gutachten der obersten Baubehörde gerügt worden, und allerdings muſs die groſse Vermehrung der todten Last unpassend erscheinen, welche das Wasser in die Steigröhren drücken soll, doch behielt man die Einrichtung bei, um das Parallelogramm oder eine andere künstliche Vorrichtung zur senkrechten Führung der Pumpenstange zu entbehren. Die beiden an jedem Balancier befindlichen Pumpen, die sonach abwechselnd spielen, drücken das Wasser in eine gemeinschaftliche Steigeröhre *F*, und je zwei derselben, die von demselben Wasserrade gespeist werden, verbinden sich im Thurme zu den Röhren *G* (Fig. 71, *b*). Die letzteren gieſsen ihren Inhalt in ein sichelförmiges Bassin *H* (Fig. 71, *b* und *d*), von diesem flieſst es nach der in Frankreich üblichen Methode durch gröſsere Oeffnungen in die zweiten ebenso gestalteten Bassins *I* und aus diesen in das ringförmige Bassin *K*. Beim letzten Durchflusse durch die Wand zwischen *I* und *K* passirt es die kreisförmigen Oeffnungen, welche die Anzahl der Wasserzolle bestimmen, und wenn man in der Mitte des innern ringförmigen Bassins steht, kann man die Wirksamkeit jeder einzelnen Maschine mit einem Blicke beurtheilen. Das letzerwähnte Bassin steht mit den drei Abfallröhren *L* in Verbindung, von denen zwei über die Brücke nach dem Haupttheile der Stadt gehn und die dritte die Vorstadt St. Cyprien am linken Ufer der Garonne versorgt.

Indem das Wasser aus den Bassins *E* unmittelbar in die Pumpen flieſst, so konnte man die Windkessel entbehren, die sonst bei Druckpumpen von groſser Steighöhe und überhaupt bei langen Röhrenleitungen wesentlich sind und den sanften Gang der Maschine bedingen.

Die Gesammtkosten der Anlage betrugen

1) für Zu- und Ableitung des Betriebswassers	170000	Francs
2) für das Maschinengebäude	92000	-
3) für die Maschinen	106000	-
Summa	368000	Francs

Nach der Mittheilung, die d'Aubuisson im Jahre 1837 über diese Leitung machte, waren bis dahin gar keine namhaften Reparaturen oder Aenderungen nöthig geworden, nur das ursprünglich eingerichtete natürliche Filter lieferte nicht den nöthigen Bedarf, es mufste daher bald weiter ausgedehnt werden, was später auch wiederholentlich noch geschehn ist.

§. 18.
Messung des Wassers.

Wenn man Wasserleitungen durch Quellen speisen will, so entsteht zunächst die Frage, ob diese dem Bedarf entsprechen. Die Ergiebigkeit einer Quelle oder eines Baches läfst sich annähernd (§. 6) aus der Ausdehnung und Beschaffenheit des Terrains beurtheilen, welches die Zuflüsse liefert. Man darf zwar nicht hoffen, auf diese Art eine grofse Genauigkeit zu erreichen, aber nichts desto weniger sichert eine solche Betrachtung doch vor groben Täuschungen, zu denen eine einmalige directe Messung leicht führen kann. Am sichersten ist es, in verschiedenen Jahreszeiten die Messung der Wassermenge zu wiederholen. Dieses Verfahren ist aber mühsam und häufig unausführbar, man mufs sich daher gemeinhin mit einer annähernden Schätzung begnügen. Vorzugsweise kommt es darauf an, die Ergiebigkeit der Quellen zur Zeit der trockenen Witterung und selbst der gröfsten Dürre zu kennen, weilalsdann die gewöhnlichen Brunnen ganz oder theilweise versiegen, also die Wasserleitung am wenigsten entbehrt werden kann. Man darf sich daher nicht zu einer Anlage entschliefsen, die nur durchschnittlich das erforderliche Quantum liefert, vielmehr ist eine solche als ganz verfehlt zu betrachten, wenn sie nicht bei anhaltender Dürre noch dem Bedürfnisse entspricht.

Die Messung der Wassermenge geschieht gewöhnlich, indem man an einer ziemlich regelmäfsigen Stelle des Baches das Quer-

profil und die mittlere Geschwindigkeit bestimmt. Es ist dieselbe Methode, die auch bei Flüssen und Strömen angewendet wird, ihre specielle Beschreibung wird daher im zweiten Theile einen passenderen Platz finden. Es tritt indessen bei der Untersuchung von Bächen und Quellen der Uebelstand ein, dafs die geringe Wassertiefe häufig die Geschwindigkeits-Messungen nicht genau genug anstellen läfst, und überdies zeigen sich hier auch gemeinhin grofse Abweichungen zwischen den Geschwindigkeiten an verschiedenen Stellen desselben Profiles. Hiernach ist die Bestimmung geringer Wassermengen aus ihrer mittleren Geschwindigkeit keineswegs sicher, und es sind dafür andere Methoden zu wählen, von denen hier die Rede sein soll. Die Ergiebigkeit einzelner Quellen und kleinerer Bäche, besonders wenn sie starke Gefälle haben, läfst sich bequem und sicher dadurch bestimmen, dafs man sie in Gefäfsen von bekanntem Inhalte auffängt und die Zeit beobachtet, in der diese sich füllen. Um jedoch zu sichern Resultaten zu gelangen, mufs man zwei Umstände dabei nicht aufser Acht lassen, nämlich

1) mufs die Messung während eines constanten und gleichmäfsigen Abflusses erfolgen, damit die aufgefangene Wassermenge wirklich diejenige ist, die der Bach in derselben Zeit regelmäfsig abführt. Man darf also nicht etwa den Bach durchdämmen, und sobald er eine gewisse Höhe des Dammes oder eine darin angebrachte Ausflufsöffnung erreicht hat, die überströmende Wassermenge messen. Man mufs vielmehr, wenn dergleichen Anlagen gemacht sind, die Messung nicht früher beginnen, als bis der Beharrungstand eingetreten ist, d. h. bis der Wasserspiegel oberhalb der Stauvorrichtung sich nicht mehr ändert.
2) Darf man den künstlichen Stau, der zu diesem Zwecke erzeugt wird, nicht zu hoch treiben, denn in diesem Falle dringt ein Theil des Wassers in den Boden, auch wohl durch diesen in das Unterwasser, woher das beobachtete Resultat zu klein ist.

Am vortheilhaftesten ist es, zur Messung eine Stelle zu wählen, wo die Ufer geschlossen sind und das Gefälle recht stark ist. Hier fängt man den Quell in einer Rinne auf, und gräbt neben derselben das wasserdichte Gefäfs in das Bette ein. Sobald die Strömung in der Rinne zum Beharrungsstande gekommen ist, oder das Oberwasser weder steigt noch fällt, so öffnet man eine Klappe am Boden oder zur Seite der Rinne und läfst ihren ganzen Inhalt nach dem Gefäfse

strömen, während man nach einer Secundenuhr die Zeit der Füllung beobachtet.

Prony führte eine sinnreiche Abänderung dieser Methode ein *), die auch bei andern Beobachtungen benutzt werden kann, und deren ich mich bei manchen hydraulischen Untersuchungen mit Vortheil bedient habe. Ich will sie hier in ihrer Anwendung auf den vorliegenden Fall beschreiben. Man bringt im Bette des Baches einen hölzernen Kasten, oder eine Arche an, die in den verschiedenen Höhen einen gleichen horizontalen Querschnitt haben mufs, den ich Q nenne. In diesen Kasten fliefst das Wasser durch eine Oeffnung A ein und durch eine zweite Oeffnung B auf der entgegengesetzten Seite oder am Boden ab. Es ist vortheilhaft, die erste recht grofs, und die zweite dagegen nur klein anzunehmen. Die Oeffnung A kann durch ein leicht bewegliches Schütz geschlossen werden. Dieses Schütz wird zunächst geöffnet und sonach fliefst der ganze Bach durch den Kasten hindurch. Es bildet sich ein Stau bei A und ein zweiter bei B, der letzte wird bei der angegebenen Gröfse der Oeffnungen bedeutender sein, als der erste. Wenn die Strömung den Beharrungsstand erreicht hat, was man an einem im Kasten aufgestellten Pegel beobachten kann, so schliefst man nach einer Secundenuhr das Schütz in der Oeffnung A. Der Kasten erhält alsdann keinen Zuflufs mehr, während der Abflufs im nächsten Momente noch der vollen Wassermenge des Baches entspricht, aber nach Maafsgabe der eintretenden Senkung des Wassers sich nach und nach vermindert. Man beobachtet die Senkungen, die in gewissen Zeiten eintreten. Bezeichnet man die Senkungen mit z und die Zeiten mit t, so kann man als erste Näherung annehmen

$$z = a \,.\, t + b \,.\, t^2$$

wo a und b gewisse Constanten sind, die Zeit t aber von dem Augenblicke des Schliefsens der Oeffnung A gerechnet wird, und z von der früheren constanten Wasserhöhe abwärts zählt. Hat man nun gefunden, dafs nach den Zeiten t' und t'' die Senkungen z' und z'' betragen, so kann man durch Einführung dieser Werthe die Constanten a und b berechnen. Man findet aus diesen

$$z = \frac{t}{t'' - t'}\left(\frac{t'' - t}{t'}\, z' - \frac{t' - t}{t''}\, z''\right)$$

*) *Mémoire sur le jaugeage des eaux courantes par de Prony.* Paris 1802.

und hieraus $$\frac{dz}{dt} = \frac{1}{t''-t'}\left(\frac{t''-2t}{t'}z' - \frac{t'-2t}{t''}z''\right)$$

Dieser Ausdruck bezeichnet die Geschwindigkeit, womit der Wasserspiegel im Kasten sich zur Zeit t senkt, und es kommt darauf an, diese Geschwindigkeit zur Zeit $t = o$, oder für denjenigen Moment zu kennen, wo das Schütz geschlossen wurde. Für dieses t ist

$$\frac{dz}{dt} = \frac{1}{t''-t'}\left(\frac{t''z'}{t'} - \frac{t'z''}{t''}\right)$$

Die Geschwindigkeit, womit der Wasserspiegel sich senkt, steht aber in einem bestimmten Verhältnisse zur ausströmenden Wassermenge, die letztere ist $$= Q \cdot \frac{dz}{dt}$$

und da zur Zeit des Schlusses der obern Oeffnung noch die ganze Wassermenge ausströmte, so ist diese oder

$$M = \frac{t''t''z' - t't'z''}{t't''(t''-t')}Q$$

Auf solche Art ergeben zwei Messungen der Senkung des Wassers durch eine leichte Rechnung die Wassermenge des Baches, die Beobachtung wird aber besonders bequem, wenn man gleiche Senkungen wählt, oder $z'' = 2z'$ setzt, weil man alsdann die betreffenden Maafse vorher bestimmen und die Pegel darnach einstellen kann.

Um zu einem hinreichend sichern Resultat zu gelangen, müssen die Senkungen, oder die jedesmaligen Höhen des Wasserstandes sehr scharf beobachtet werden. Dieses geschieht am passendsten durch eine abwärts gekehrte Spitze, die am Nonius des Pegels angebracht ist. Ob dieselbe noch eintaucht oder über dem Wasser schwebt, läfst sich auf der spiegelnden Oberfläche sehr deutlich wahrnehmen. Man stellt sie, während der constante Durchflufs stattfindet, möglichst scharf ein, und liest das Maafs ab. Alsdann senkt man sie um eine gewisse Anzahl von Zollen, und später wieder eben so tief, und beobachtet beide male die Zeit, in welcher die Spitze sich von der Oberfläche löst.

Bei diesen Messungen, sowie auch bei Bestimmung der Wassermenge gröfserer Ströme, legt man eine gewisse Zeiteinheit zum Grunde, gewöhnlich eine Secunde, und ermittelt das Quantum, welches während derselben abgeführt wird. Diese Bezeichnungsart erfordert also zwei Angaben, nämlich die der Zeit und des cubischen Inhalts. Bei gleichmäfsiger Strömung, von der hier nur die Rede

ist, ist indessen die Zeit ein ganz fremdes Element, welches man entbehren könnte, wenn man die Ergiebigkeit mit einem passenderen Maafse, als durch den cubischen Inhalt gemessen hätte. Zu einem solchen, oder zur Einheit dieses Maafses, eignet sich vorzugsweise ein Wasserstrahl von bestimmter Stärke. Diese Messungsart ist bei uns gegenwärtig nicht mehr üblich, doch war sie es früher. In Italien und Frankreich wird sie aber auch noch angewendet. Die Einheit heifst Wasserzoll, und sie ist ein Strahl, der durch eine kreisrunde Oeffnung von 1 Zoll Durchmesser in einer dünnen und senkrechten Wand unter dem möglichst kleinsten Drucke abfliefst, d. h. die Druckhöhe ist so weit ermäfsigt, dafs nur eben der obere Rand der Oeffnung noch vom Strahle berührt wird. Das Maafs ist daher genau bestimmt und seine Anwendung bietet auch grofse Bequemlichkeit, der einzige Vorwurf, den man ihr machen kann, besteht darin, dafs sie nur ganze Zahlen angiebt. Der Fehler, den man aus diesem Grunde begeht, ist im Maximum gleich $\frac{1}{2}$, und wird um so unbedeutender, je gröfser die Wassermenge ist. Schon bei fünf Zollen beträgt er nur den zehnten Theil des Ganzen. Diese Genauigkeit ist aber in vielen Fällen genügend, wenigstens kann die gewöhnliche Methode, wonach das Querprofil und die mittlere Geschwindigkeit gemessen wird, bei kleinen Zuflüssen nicht leicht eine höhere und kaum diese Sicherheit geben.

Der Apparat, womit man diese Messung ausführt, ist Fig. 72 *a* im Profile und *b* in der Ansicht von vorn dargestellt. Die Speiseröhre *A*, deren Ergiebigkeit man messen will, mündet über einem Kasten *B*, und aus diesem fliefst das Wasser durch mehrere Oeffnungen *C*, die am untern Theile der Zwischenwand angebracht sind, in den Kasten *D*. Letzterer ist nur deshalb vom ersten getrennt, damit die starke Bewegung sich nicht bis an die Kreisöffnungen fortsetze. Zu demselben Zwecke ist der Kasten *D* auch noch durch Zwischenwände getheilt. In der Wand, welche die Kasten *D* und *F* von einander trennt, befinden sich die kreisförmigen Oeffnungen von 1 Zoll Durchmesser, welche zur Messung dienen. Das hier durchfliefsende Wasser sammelt sich in einem dritten Kasten *F*, von wo es weiter geleitet wird. Hauptbedingung ist, dafs die aus den Oeffnungen tretenden Strahlen sämmtlich gleich stark sind, woher die Oeffnungen gleich grofs, und einem gleichen Wasserdrucke ausgesetzt sein müssen. Aus dem letzten Grunde löthet man die Messing- oder

Kupferbleche, worin in gerader Linie und etwa in 3 Zoll Abstand von Mitte zu Mitte die Oeffnungen eingeschnitten sind, mit grofser Sorgfalt auf, so dafs die Mittelpunkte aller Oeffnungen gleich hoch liegen, aufserdem ist aber auch dafür zu sorgen, dafs in den Kasten *B* und *D* sich kein starkes Gefälle bilde, welches den Wasserstand vor den Oeffnungen neben der Speiseröhre merklich höher stellen würde, als vor den entfernteren. Dieses wird erreicht, indem man beiden Kasten ein grofses Profil giebt, da aber gewöhnlich der Raum sehr beschränkt und sonach eine grofse Breite nicht zulässig ist, so bleibt nur die Darstellung einer grofsen Tiefe möglich. Die Messung geschieht in folgender Art. Die sämmtlichen Zollöffnungen *E*, *E* sind mit gewöhnlichen Korken geschlossen, und sobald die Röhre *A* zu wirken anfängt und der Kasten *D* bis zur Höhe der Oeffnungen gefüllt ist, nimmt der Aufseher einen Kork nach dem andern heraus und zwar so lange, bis die durchfliefsenden Strahlen sich von den obern Rändern der Oeffnungen trennen. Man kann dieses mit der gröfsten Deutlichkeit bemerken. Gesetzt, dafs durch fünf Oeffnungen *E*, *E* noch volle Strahlen durchfliefsen, dafs aber, sobald die Oeffnung *E'*, die in der Figur geschlossen dargestellt ist, zu fliefsen anfängt, die Strahlen sich von den obern Rändern der Oeffnungen trennen, so zeigt dieses, dafs die Wassermenge 5 Zoll oder darüber, aber noch nicht 6 Zoll beträgt. Durch diese Oeffnungen fliefst das Wasser dauernd ab, und der Aufseher kann zu jeder Zeit sich überzeugen, ob die Wassermenge sich nicht vermindert hat, er kann aber auch leicht wahrnehmen, ob sie sich vermehrt, wenn er von Zeit zu Zeit versucht, noch eine der bisher geschlossenen Oeffnungen frei zu machen. Dieser Mefsapparat gewährt sonach den grofsen Vortheil, dafs er eine überaus leichte und bequeme Controlle über die Ergiebigkeit der Wasserleitung dauernd zuläfst.

Wenn das zufliefsende Wasser nicht eine einzige, sondern mehrere Röhrenleitungen speisen soll, und es nöthig ist, das ganze Quantum unter diese entweder gleichmäfsig, oder nach einem bestimmten Verhältnisse zu vertheilen, oder aber wenn einige derselben ein gewisses Quantum unter allen Umständen erhalten müssen, so läfst sich dieses, wie Fig. 73*a* im Grundrisse und *b* im Profile zeigt, leicht bewirken, sobald eine zweite Reihe von Zollöffnungen dargestellt wird. Die Steigeröhren *A* giefsen das Wasser in möglichst gleichen Abständen in den gemeinschaftlichen Kasten *B* aus, von wo es in

den Behälter *D* tritt. Die Oeffnungen in der Wand des letztern führen es nach *F*, und bei diesem Uebergange geschieht, wie erwähnt, die Messung. Jede Mündung *G* einer zu speisenden Röhrenleitung ist aber wieder in einem besondern Kasten *H* angebracht, dem das Wasser durch eine neue Reihe von Oeffnungen zugeführt wird. Durch Schliefsen oder Oeffnen der letzteren kann der Aufseher jeder Leitung ihr Quantum zuweisen.

Die Figuren zeigen die ganze Anordnung der Bassins, wie sie in Frankreich üblich und sehr bequem ist. In dem Thurme auf dem Gebäude der Wasserhebungsmaschine liegen zunächst an der Mauer ganz frei und zugänglich die verschiedenen Steigeröhren. Sie giefsen sämmtlich ihren Inhalt in den äufsern Kasten, der gemeinhin ohne Zwischenwand entweder an allen vier Wänden des Zimmers, oder doch wenigstens an drei derselben sich hinzieht, indem an der vierten die Treppe liegt. Vor diesem Kasten *A* befinden sich die andern *B*, *C* und *D*, und der Aufseher kann leicht sowol die Controlle, als auch die vorgeschriebene Vertheilung des Wassers ausüben. In der Figur ist noch ein blecherner Cylinder über der Mündung der Röhrenleitung *G* dargestellt, der ringsum mit feinen Oeffnungen versehn ist, um die gröberen Stoffe, die das Wasser vielleicht mit sich führt, vom Eintritt in die Leitung abzuhalten. Gewöhnlich befindet sich in der Achse desselben noch ein Kegelventil, womit die Mündung der Leitung verschlossen werden kann. Endlich sind die sämmtlichen Kasten auf einem starken hölzernen Gestelle in solcher Höhe angebracht, dafs der Aufseher möglichst bequem alle Oeffnungen im Auge behalten und erreichen kann. Die äufsern Wände der Reservoire, die dem vollen Seitendrucke ausgesetzt sind, bestehn aus Holz, das Ganze ist aber mit Bleiplatten verkleidet und Bleiplatten bilden die innern Wände mit Ausnahme der Theile, worin die zölligen Oeffnungen eingeschnitten sind. Dieses sind gewöhnlich Kupferplatten. Durch die beschriebene Anordnung wird ein Theil der gewonnenen Höhe allerdings verloren, der Verlust beträgt aber nicht leicht mehr als 1 Fufs und ist daher unbedeutend in Vergleich zu den dadurch erreichten Vortheilen.

Diese Methode läfst sich auch zur Messung der Ergiebigkeit eines Baches anwenden, wenn man denselben durch ein eingegrabenes Brett sperrt, worin die Metallplatte mit den zölligen Oeffnungen eingesetzt ist. Dieses Verfahren empfiehlt sich bei kleinen Wasser-

mengen ganz besonders, insofern der hierzu erforderliche Stau sich auf 2 bis 3 Zoll beschränkt.

Endlich wäre noch die Gröfse des Wasserzolles anzugeben, oder zu bestimmen, wie viel Wasser die zöllige Oeffnung unter den angeführten Umständen in einer gewissen Zeit liefert. Die Lösung dieser Aufgabe bietet in sofern einige Schwierigkeit, als es unbestimmt ist, wie stark das Wasser sich vor der Oeffnung senkt, damit der gesenkte Wasserspiegel so eben den obern Rand der Oeffnung berührt. Man nimmt in Frankreich gewöhnlich an, dafs diese Senkung oder die Druckhöhe über dem obern Rande 1 Pariser Linie beträgt, wenn der Durchmesser der Oeffnung 1 Pariser Zoll ist. Die Druckhöhe über dem Mittelpunkte der Oeffnung wäre also 7 Pariser Linien. Der Contractions-Coefficient, der für solche kleine Druckhöhen gilt, beträgt etwa 0,65. Hiernach kann man die Berechnung anstellen, und sie macht sich am einfachsten, wenn man die unendlich schmalen horizontalen Sectionen der Oeffnung, welche derselben Druckhöhe ausgesetzt sind, durch den Centriwinkel ausdrückt, dessen einer Schenkel vertical aufwärts und dessen andrer nach dem Seitenrande der Schicht gezogen ist. Man erhält alsdann die Wassermenge oder

$$M = \tfrac{1}{2}\, c\pi \,.\, D^2 \sqrt{gh} \left(1 - \tfrac{1}{128} \cdot \frac{D^2}{h^2} - \tfrac{1}{32768} \cdot \frac{D^4}{h^4} \;\cdots\right)$$

wo D den Durchmesser der Oeffnung, h die Druckhöhe über dem Mittelpunkte und c den Contractions-Coefficient bedeutet. Hiernach hat man die Wassermenge berechnet, und damit ungefähr übereinstimmend nimmt man in Frankreich allgemein an, dafs ein Wasserzoll in Pariser Maafs in der Minute 15 Pinten oder in 24 Stunden 19,1953 Cubikmeter liefert, d. i. 620,9 Cubikfufs Rheinl. Prony hat vorgeschlagen, die Oeffnung so zu vergröfsern, dafs sie in 24 Stunden 20 Cubikmeter giebt, und diesem abgeänderten Wasserzolle gab er die Benennung „*double module d'eau.*" Bei der Wasserleitung in Toulouse hat man diese Aenderung eingeführt, doch scheint sie sonst keinen Beifall gefunden zu haben.

Wenn die Oeffnung einen Rheinländischen Zoll im Durchmesser hält, so giebt sie unter derselben kleinsten Druckhöhe in der Secunde 0,00602 und in 24 Stunden 520 Rheinländische Cubikfufs.

§. 19.
Ansammlung des Wassers.

Wenn man einen Bach oder Fluſs zur Speisung einer Wasserleitung benutzen will, so muſs das Wasser an einer Stelle geschöpft werden, wo es möglichst rein ist. Unmittelbar in der Oberfläche oder am Boden darf es aber nicht entnommen werden, weil dort alle schwimmenden Körper in die Leitung treten, oder die davor angebrachten Gitter und Drahtnetze bald sperren würden, am Boden enthält es dagegen meist erdige Theile und geht sogar oft in dünnflüssigen Schlamm über. Man entnimmt daher das Wasser an solchen Stellen, wo es besonders tief ist, und vermeidet die Nähe der Ufer, weil daselbst eine Verunreinigung durch Staub, Blätter u. dergl., auch durch Thiere am meisten zu besorgen ist. Sodann ist eine besonders starke Strömung an der Stelle, wo die Ableitung geschieht, auch nicht vortheilhaft, weil im schnell bewegten Waser oft feine Sandkörnchen schweben, die sich bei einiger Ruhe niederschlagen. Wenn man einen Damm oder ein Wehr quer durch das Bette führt, so vermeidet man auf die einfachste Weise die erwähnten Nachtheile. Das Wasser staut sich davor an und man gewinnt den nöthigen Wasserstand, um in gehöriger Entfernung von dem Grunde schöpfen zu können. Auſserdem wird die Strömung wegen des vergröſserten Profiles gemäſsigt und das Wasser ist daher reiner. Endlich tritt hierbei zuweilen auch noch der günstige Umstand ein, daſs die Druckhöhe sich etwas vermehrt und dadurch die ganze Leitung an Wirksamkeit gewinnen kann. In dieser Beziehung darf man sich jedoch nicht zu viel versprechen, noch auch einen zu groſsen Stau bilden, denn die Wassermasse des Quelles folgt dem Bette nur, wenn die Widerstände in demselben viel geringer sind, als in den Adern, die sich im Boden und namentlich zwischen den Kies- oder Sandkörnchen befinden. Sperrt man aber das Bette und staut man das Wasser an, so treten sogleich die Nebenwege in Wirksamkeit, und die Leitungsröhre empfängt um so weniger Wasser, je höher man dasselbe anspannt. Dieses Gesetz gilt auch noch, wiewohl aus einem andern Grunde, bei gröſsern Bächen und selbst bei Flüssen. Staut man dieselben nämlich hoch auf, so wird der Erdboden rings umher stärker befeuchtet, wie früher, die Verdunstung entzieht also ein

gröfseres Wasserquantum und eine Menge Quellen zeigt sich oft nicht nur am Fufse des Dammes, sondern auch neben demselben und an den Ufern, indem das Wasser wegen des stärkeren Druckes durch den Boden hindurchgetrieben wird und nutzlos verloren geht. Durch eine sorgfältige Dammschüttung und Dichtung derselben läfst sich freilich dieser Uebelstand zuweilen umgehn, doch ist dieses nicht immer möglich.

Mit Rücksicht auf die abzuleitende Wassermenge und die Wichtigkeit der ganzen Anlage werden verschiedenartige Vorrichtungen zum Schöpfen des Wassers gewählt. Eine der einfachsten zeigt Fig. 74 *a* im Längendurchschnitt und *b* in der Ansicht von oben. Die hölzerne Grundrinne *K* liegt in dem Erddamme, der den Stau bewirkt. Sie mufs sorgfältig mit einem Lehmschlage umgeben sein, damit das Wasser nicht zwischen ihr und der Erde einen Abflufs findet. An dem vordern Ende, womit sie in den Weiher, oder in das Speisebassin hineinreicht, ist sie mit einem hölzernen Pflock geschlossen, bei vorkommenden Reinigungen wird letzterer herausgeschlagen. Nicht weit davon steht der Rinnstock *L*, auch wohl der Mönch genannt, der sie mit zwei Backen von beiden Seiten umfafst, und um die Verbindung um so sicherer zu machen, wird die Rinne einige Zoll tief eingeschlitzt, wie in Fig. 74 *b* durch die punktirten Linien angedeutet ist. Der Rinnstock ist auf der dem Quell zugekehrten Seite offen, und wird durch eingesetzte Brettstückchen, die durch das Wasser angedrückt werden, geschlossen. Je mehr derselben eingestellt werden, um so höher spannt man das Wasser, und man kann sonach die Druckhöhe nach Maafsgabe der Reichhaltigkeit des Quells etwas vergröfsern. Der Zuflufs geschieht hier immer in der Oberfläche, woher ein Gitter in dem Rinnstocke angebracht sein mufs, um das Eintreiben von Laub und andern schwimmenden Körpern zu verhindern. Endlich mufs für die gehörige Dichtung des ganzen Apparats gesorgt werden, indem man in die Fugen zwischen und neben den Brettstücken Moos oder Werg von aufsen eintreibt.

Wenn ein Quell, wie gewöhnlich geschieht, am Fufse einer Anhöhe vortritt, so bietet sich die Gelegenheit, ihn so abzufangen, dafs er gar nicht mit der Luft in Berührung kommt, also dem Einflusse der äufsern Temperatur ganz entzogen wird. Auch für die Reinheit des Wassers ist diese unterirdische Verbindung mit der Röhrenleitung von wesentlichem Nutzen, weil Pflanzen, wie Thiere, in weit

gröſserer Menge sich einfinden, sobald der Quell zu Tage tritt, und alsdann auch Staub hineingeweht, oder erdige Theilchen durch Seitenzuflüsse zugeführt werden. Eine Anlage dieser Art nennt man eine Brunnenstube. Fig. 32 auf Taf. III zeigt eine solche, *a* und *b* in zwei senkrechten und *c* in horizontalem Durchschnitte.

Dieselbe ist rings umher, und so auch oben und unten mit Mauerwerk umschlossen. Die Quellen treten zwar gewöhnlich aus rein ausgewaschenen Sand- oder Kies-Schichten hervor, indem durch die dauernde Durchströmung alle Thon- und sonstigen Erdtheilchen daraus fortgespült sind, da jedoch der Sand durch das aufquellende Wasser in Bewegung gesetzt wird, so könnte er auch leicht in die Leitung getrieben werden. Aus diesem Grunde ist die Ueberdeckung der Sohle mit einem dicht schlieſsenden umgekehrten Gewölbe erforderlich. Dieses sowol, wie auch die Seitenmauern ruhen auf einem durchgehenden Fundamente, welches gemeinhin aus Bruchsteinen in Cementmörtel ausgeführt ist. Indem durch die Umfassungsmauern, sowol an beiden Seiten, wie auch rückwärts die im Boden liegenden Wasseradern in das innere Bassin treten sollen, so sind die Mauern etwa bis zu der Höhe des gewöhnlichen Wasserstandes in der Brunnenstube trocken, oder mit offenen Fugen ausgeführt, und auswärts noch mit Steinschüttungen umgeben, damit der Zutritt erdiger Theilchen um so vollständiger verhindert wird. Auf der Thalseite darf dagegen das Wasser nicht durchdringen. Die hier befindliche Mauer, sowie auch die Flügelmauern werden daher aus Bruchsteinen in Cementmörtel ausgeführt und stehn gleichfalls auf dem wasserdichten Fundamente auf. Die obern Theile der Umfassungsmauern, wie auch das Gewölbe, welches die Decke der Brunnenstube bildet, sind wieder in Mörtel gemauert, auch von innen geputzt. Letzteres geschieht zur Sicherung gegen das von oben eindringende Wasser, woher sie auch mit einer fest angestampften Schicht zähen Thones überdeckt sind. Ueber dieser befindet sich die Erdschüttung, welche die ganze Anlage gegen Frost und Hitze schützt.

Die Gröſse der Brunnenstube ist von der anzusammelnden Wassermenge abhängig. Der vordere Theil derselben, zu welchem eine niedrige Eingangsthüre führt, pflegt etwas höher, als der hintere gehalten zu werden, damit die Vorrichtung zum Oeffnen und Schlieſsen der Röhrenleitung sich bequemer benutzen läſst. Zu diesem Zwecke ist in der Höhe der Thürschwelle eine schmale Brücke angebracht,

durch welche die Schraube hindurchgreift, welche die Klappe vor der Röhren-Mündung hebt und senkt. Diese Vorrichtung ist Fig. 32*d* noch in gröſserem Maaſsstabe dargestellt.

Die Röhre schöpft das Wasser etwas über dem Boden der Brunnenstube, der zu diesem Zwecke hier noch gesenkt ist, und tritt alsdann unter der Erdanschüttung aus, so daſs sie nirgend offen liegt. An passender Stelle ist sie jedoch mit einer Abfluſsröhre versehn, durch welche bei vorkommenden Reinigungen und Reparaturen die Brunnenstube ganz entleert werden kann.

Nahe unter der erwähnten Brücke befindet sich eine zweite stets offene Röhre, die zur Ableitung des Wassers dient, falls der Quell zeitweise so viel zuführen sollte, daſs die Brunnenstube ganz gefüllt und dadurch die Decke derselben bedroht würde. Sobald diese Röhre in Wirksamkeit tritt, führt sie das Wasser in eine gepflasterte Rinne auf der Anschüttung, welche den Zugang zur Thüre der Brunnenstube bildet.

Anlagen dieser Art kommen vielfach vor, die hier beschriebene ist in der Nähe von Saarbrücken ausgeführt.

Wird das Wasser aus einem Strome oder aus einem See geschöpft, so ist die Speiseröhre auch zugleich Saugeröhre der Wasserhebungs-Maschine. Eine künstliche Aufstauung kommt, wenigstens in schiffbaren Gewässern in diesem Falle nicht vor, doch muſs hinreichende Tiefe vorhanden sein, damit die Mündung selbst beim niedrigsten Wasserstande noch unter diesem bleibt, ohne den Grund zu berühren. Vielfach leitet man in solchem Falle die guſseiserne Röhre über das Ufer und das flache Wasser bis zur genügenden Tiefe auf einer Rüstung und zwar in solcher Höhe, daſs sie beim gewöhnlichen Wasserstande über denselben hinaustritt. Die Mündung ist aber abwärts gekehrt und reicht bis unter das kleinste Wasser herab. In solcher Art wurde unter andern die Wasserleitung Gros-Caillou in Paris aus der Seine gespeist. Hierbei tritt indessen der Uebelstand ein, daſs die Röhre manchen Beschädigungen, namentlich bei Eisgang und zur Zeit des hohen Wassers durch darüber treibende Gegenstände und selbst durch Schiffe ausgesetzt ist. Aus diesem Grunde wählt man häufig eine andre Einrichtung, wonach die Röhre unter die Sohle des Fluſsbettes versenkt wird und an ihrem Ende in einem starken massiven Bau sich lothrecht erhebt. Letzteren hat man wegen der wirbelnden Bewegung, die

er im Strome erzeugt, Delphin genannt. Fig. 75 auf Taf. V zeigt einen solchen. Die Mündung der Speiseröhre liegt etwa 9 Zoll unter dem kleinsten Wasser, die Röhre selbst senkt sich aber mit schwachem Gefälle vom Delphin ab bis zum Brunnen, aus welchem die Maschine das Wasser schöpft, und treibt sonach den etwa eintretenden Sand bis zu diesem, ohne dafs sie dadurch gesperrt werden kann. Bei dieser Anordnung liegt die Röhre so tief, dafs sie vor Beschädigungen gesichert ist, und wenn man ihre Mündung schliefst, so kann sie im Innern trocken gelegt werden. Die aufwärts gerichtete Mündung mufs aber vor möglichen Beschädigungen gesichert werden, und dieses geschieht durch das massive Gebäude, welches sie umgiebt. Dasselbe ist mit einer Reihe fensterähnlicher Oeffnungen versehn, die von aufsen mit starken Gittern und von innen mit feinen Drahtnetzen geschlossen sind. Durch selbige erfolgt der Zuflufs des Wassers. Bei Hochwasser wird das ganze Gebäude überströmt, bei niedrigem Wasser kann man aber heranfahren und auch hineingehen, um die Gitter und Netze zu reinigen. Im Schifffahrts-Interesse ist es nothwendig, die Stelle, wo der Delphin sich befindet, deutlich zu bezeichnen, damit nicht etwa bei hohem Wasserstande Schiffe darauf stofsen. Mehrere Anlagen dieser Art befinden sich in der Themse bei London.

Zuweilen wird der Bach, durch den man die Wasserleitung speisen will, theilweise schon zu andern Zwecken, wie etwa zum Betriebe von Mühlen benutzt, und wenn es alsdann nicht gelingt diese anzukaufen, so bleibt nur übrig, der Leitung nur diejenige Wassermenge zuzuweisen, deren die ältere Anlage nicht bedurfte. Es mufs also eine bestimmte Vertheilung eintreten, die oft wieder durch die verschiedenen Witterungsverhältnisse bedingt wird. Gewöhnlich wird zu diesem Zwecke der Zuflufs nach der Röhrenleitung durch Schütze oder Ventile, oder auf andre Art von dem dazu angestellten Aufseher regulirt. Diese Anordnung macht indessen die genaue Wahrnehmung des einen und des andern Interesses nur von der Aufmerksamkeit des Wärters abhängig. Man hat sich daher vielfach bemüht, die Bewegung jener Schütze und Klappen durch die veränderte Strömung oder die Veränderung des Wasserspiegels in dem Gerinne oder Bache zu bewirken, um nicht nur den Aufseher zu entbehren, sondern auch um jede eintretende günstige Veränderung in dem Zuflusse, wenn sie auch nur von kurzer Dauer

sein sollte, zu benutzen und jeder Versäumnifs im Ziehn der Schütze vorzubeugen. Bei uns kommen dergleichen Anlagen nicht vor, und man hat im Allgemeinen zu denselben auch wenig Vertrauen, indem man meint, dafs die Maschinerie bald in Unordnung kommen müsse. Man darf indessen nicht vergessen, dafs der Grund des Mifsglückens eines Versuches nicht immer in der Unbrauchbarkeit der Erfindung liegt, vielmehr häufig in der unpassenden Anordnung und schlechten Ausführung zu suchen ist.

In England sind Anlagen dieser Art mehrfach zur Ausführung gekommen. Hierher gehören schon die schwimmenden Heber, die bei allen Wasserständen des Baches immer eine gleiche Quantität Wasser abführen. Man richtet sie so ein, dafs der Bach einen Brunnen speist, und in diesem schwimmt eine Kugel, die den über den Rand des Brunnens herüberreichenden Heber trägt und sonach dessen Stellung nach Maafsgabe der Hebung oder Senkung des Wasserspiegels verändert. Damit der Heber indessen immer senkrecht gerichtet bleibt und nach einer bestimmten Seite ausgiefst, so hängt er an zwei Ketten, die über Räder führen, und letztere sind durch Gegengewichte so abgeglichen, dafs die gröfsere oder mindere Länge der herabhängenden Ketten ihren Einflufs verliert.*)

In grofser Ausdehnung ist diese Selbstregulirung der Zu- und Abflüsse bei der Wasserleitung in Ausführung gebracht, welche Greenock (etwa 1 Meile unterhalb Glasgow an der Clyde) mit Wasser versorgt. Ich will die wichtigsten der daselbst getroffenen Anordnungen nach der Beschreibung von Mallet**) mittheilen und bemerke zuvor, dafs man den Shaw-Flufs oberhalb Greenock in einem grofsen Bassin von 470 Magdeburger Morgen Grundfläche und mehr als 500 Fufs hoch über dem Niveau der Clyde auffing und aufserdem mehrere andere Bassins anlegte, die jedoch nur geringere Ausdehnung haben. Man sammelt hier alles Wasser, was man irgend gewinnen kann, und läfst den bereits bestehenden Mühlen nur soviel, als sie bisher zu ihrem Betriebe benutzten. Der Ueberschufs bei nassem Wetter fliefst sonach in das Bassin, und dasselbe geschieht mit der ganzen Wassermenge, wenn sie bei trockner Witterung für

*) Verhandlungen des Gewerbevereins. Zehnter Jahrgang. Berlin 1831. S. 309.

**) *Annales des ponts et chaussées.* 1831. I. S. 152.

die Mühle ungenügend war. Aus diesem Bassin werden zwei Reihen von Mühlen getrieben, von denen die eine 26 und die andere 18 oberschlächtige Räder enthält. Endlich dient das Wasser noch zur Versorgung von Greenock und der daselbst anlegenden Schiffe.

Die hier angebrachten Selbstregulirungen der Zu- und Abflüsse beruhn auf verschiedenen Anordnungen, die sich aus den folgenden Beispielen ergeben, die auf Taf. VI dargestellt sind: Fig. 76 zeigt die Vorrichtung, um einen Mühlgraben aus dem Sammelbassin zu speisen, der jederzeit Zufluſs erhalten muſs, sobald die Mühle in Gang gesetzt wird. *A* ist das Niveau im Bassin, *B* dasselbe im Mühlgraben. Beide sind mit einander durch einen überwölbten Canal verbunden, an dessen oberer Mündung sich ein Schütz befindet, welches durch einen Hebel *DE* gestellt wird. Dieser Hebel erhält seine Bewegung durch einen Schwimmer *FG* im Mühlgraben. Sobald die Mühle in Gang gesetzt wird, senkt sich davor der Wasserspiegel und mit demselben der erwähnte Schwimmer, der folglich das Schütz *C* hebt und dadurch den Zufluſs aus dem Sammelbassin eröffnet. Dieser Zustand dauert so lange, bis die Mühle in Ruhe gesetzt wird. Geschieht dieses, so hebt sich der Schwimmer mit dem Wasser vor der Mühle, und sperrt den weitern Zufluſs ab. Der Schwimmer *FG* ist 19 Fuſs lang und breit und 7 Zoll stark. Der Hebel *DE* miſst im kürzern Arme (auf der Seite des Schwimmers) 9 Fuſs und im längern 18 Fuſs. Das Schütz *C* ist 3¼ Fuſs lang und 1¼ Fuſs hoch. Es trifft sich indessen zuweilen, daſs das Oberwasser der Mühle auch durch fremdes von den Seiten zuströmendes Wasser stark gehoben wird, und der Hebel, der nach der beschriebenen Einrichtung sich nur so lange heben kann, bis das Schütz ganz geschlossen ist, würde alsdann durch den Schwimmer einem solchen Drucke ausgesetzt werden, daſs die Zugstange des Schützes verbogen werden könnte. Um dieses zu verhindern, ist die Achse des Schwimmers nicht unmittelbar am Hebel befestigt, sondern an einem zweiten Hebel, der durch ein Gewicht *H* in einer bestimmten Stellung gegen den ersten erhalten wird. Sobald der erwähnte Fall eintritt, so hebt sich der zweite Hebel mit dem angehängten Gewichte, so daſs der Schwimmer noch ansehnlich höher steigen kann. Diese Vorrichtung fand Mallet seit 13 Jahren im Gange.

Fig. 77 zeigt eine andere zu demselben Zwecke dienende Anordnung, die vor der ersten den Vorzug hat, daſs sie noch ange-

wendet werden kann, wenn die Niveaudifferenz zwischen dem Bassin *A* und dem Mühlgraben *B* sehr bedeutend auch das Stauwehr so breit ist, dafs jener Hebel nicht mehr bequem herüberreichen würde. Aus dem Speisebassin leitet eine enge Röhre *CD*, die fortwährend geöffnet bleibt, einen feinen Wasserstrahl nach dem Gefäfse *E* und dieses entleert sich durch die Röhre bei *F* in den Mühlgraben. Hier befindet sich der kleine Schwimmer *G*, der ein Ventil trägt, womit er die untere Mündung der benannten Röhre von unten verschliefst, sobald er bis zu einer gewissen Höhe steigt. Der Erfolg ist sonach der, dafs bei einem niedrigen Wasserstande im Mühlgraben der Cylinder *E* leer ist, und bei höherem sich füllt. Die Ausflufsmündung aus dem Bassin nach dem Mühlgraben wird durch eine Klappe *I* geschlossen, welche sich um eine horizontale Achse dreht und so eingerichtet ist, dafs sie durch den Druck des im Bassin *A* befindlichen Wassers, wie hoch dieses auch steigen mag, nicht geöffnet wird, ihre Bewegung vielmehr nur durch das Anziehn der Kette *K* erfolgen kann. Diese Kette führt über eine Scheibe und trägt ein Gewicht *H*, das im Cylinder *E* hängt. Letzteres übt den Zug auf die Klappe aus, wenn es frei herabhängt, wenn also der Cylinder *E* nicht gefüllt ist, oder wenn das Wasser im Mühlgraben niedrig steht. Dieses geschieht, wenn die Mühle im Gange ist. Sobald sie angehalten wird, füllt sich der Cylinder *E*, das Gewicht *H*, welches ein angemessenes Volum haben mufs, schwimmt auf, wodurch die Kette *K* schlaff wird und der Wasserdruck schliefst die Klappe.

Der in Fig. 78 dargestellte Apparat hat denselben Zweck, wie die vorhergehenden, unterscheidet sich aber dadurch, dafs die Achse des Schwimmers zwei Ventile trägt. Mallet meint, dafs diese Vorrichtung sich zur Darstellung eines constanten Niveaus bei hydraulischen Versuchen besonders eignet. Auch hier bezeichnet *A* den Wasserspiegel im Speisebassin und *B* denselben im Canale, worin man das constante Niveau erhalten will. Wie die Figur zeigt, wird der Regulirungs-Apparat durch einen fremden Quell in Thätigkeit gesetzt, doch könnte man dazu auch eine Ableitung aus dem Bassin benutzen. Die Verbindung zwischen dem Speisebassin und dem Mühlgraben wird durch eine Klappe *C* geschlossen, welche durch den Wasserdruck immer geöffnet bleiben würde, wenn nicht das Gewicht *H* mittelst der Kette *K* sie zudrückte. Dieses Gewicht *H* schwebt wieder in einem Cylinder *E*, der mit Wasser gefüllt oder

leer ist, jenachdem der Wasserstand im Mühlgraben niedrig oder hoch ist. An der Achse des Schwimmers *G* befinden sich zwei Kegelventile, wodurch zwei Oeffnungen verschlossen werden können, von denen die eine die Verbindung zwischen dem Reservoir *D* und dem Cylinder *E* darstellt und die andere das Wasser aus dem Cylinder *E* entweichen läfst. Ist jene geschlossen und diese geöffnet, was bei hohem Wasserstande im Canale *B* der Fall ist, so bleibt der Cylinder *E* leer und folglich drückt das Gewicht *H* die Klappe *C* fest an. Senkt sich dagegen der Wasserspiegel *B* und mit demselben der Schwimmer *G*, so öffnet sich das obere Ventil, das Wasser tritt also aus dem Bassin *D* aus, doch ist nunmehr die darunter befindliche Ausflufsöffnung durch das andere Ventil geschlossen, das Wasser füllt daher den Cylinder *E*, hebt das Gewicht *H* und die Klappe *C* wird durch den Wasserdruck geöffnet. Das Niveau *B* kann also bei dieser Anordnung sich nur soweit verändern, als die beiden mit einander verbundenen Ventile sich heben und senken können. Bei sorgfältiger Ausführung läfst sich dieser Spielraum leicht auf eine Linie oder noch weniger beschränken. Ein Apparat dieser Art war seit 1819 im Gange. Der Cylinder *E* ist 4 Fufs 1 Zoll weit und 5 Fufs hoch, wogegen das Gewicht *H*, welches gleichfalls cylindrisch ist, 4 Fufs im Durchmesser hält und 4 Fufs hoch ist. Der Schwimmer *G* ist 2 Fufs breit, ebenso lang und 6 Zoll hoch. Die beiden Ventile bei *F* haben 2 Zoll im Durchmesser, endlich die Klappe *C* ist 4 Fufs lang und 6 Zoll hoch, doch ist der Apparat so kräftig, dafs die Klappe ohne Nachtheil auch gröfser sein könnte.

Für den Fall, dafs aus einem Mühlgraben, sobald derselbe mehr Wasser führt, als zum Betriebe der Mühlen erforderlich ist, der Ueberschufs nach dem Speisebassin geleitet werden soll, dient die Vorrichtung Fig. 79. *A* ist der Mühlgraben. Die Klappe *BD*, die um die horizontale Achse bei *B* sich dreht, schliefst den Abflufs nach dem Speisebassin. Ein gufseiserner Hebel ist an der Klappe befestigt und vermöge des Gegengewichts *E* hält er sie gegen den Wasserdruck geschlossen. Steigt das Wasser im Mühlgraben, so fliefst es durch die Rinne *BC* nach dem Eimer *F*, und wie derselbe sich mit Wasser füllt, so wirkt er dem Gewichte *E* entgegen und hebt letzteres zugleich mit der Klappe auf, so dafs der Ausflufs erfolgt. Sobald aber der Wasserstand bei *A* sich senkt, so dafs der

Zufluſs in den Eimer F aufhört, so entleert sich dieser durch eine feine Oeffnung im Boden und das Gewicht E schlieſst wieder die Klappe.

Man möchte vielleicht glauben, daſs die ganze Wassermenge, die man bei höheren Anschwellungen ableiten will, in derselben Art über ein Ueberfallwehr von einer gewissen Höhe gestürzt werden könnte, wie das kleine Gerinne BC wirkt. So lange jedoch ein Wehr überfluthet wird, senkt sich der Wasserspiegel davor niemals bis zur Höhe seines Rückens, sondern das Wasser steht immer um so höher, je stärker der Zufluſs ist. Will man also einen constanten Wasserspiegel darstellen und groſse Wassermengen abführen, so muſs man Oeffnungen bilden, die einem höheren Wasserdrucke ausgesetzt sind, und dieses ist hier geschehn. Einen Apparat von dieser Art hatte man seit 1821 eingerichtet. Die Klappe BD ist 4 Fuſs lang und 2½ Fuſs hoch, der Hebel hat eine Länge von 5 Fuſs. Das Gewicht E besteht aus einem eisernen, mit Steinen angefüllten Cylinder von 6 Zoll Durchmesser und 18 Zoll Höhe, und wiegt mit der Füllung 260 Pfund. Der kupferne Eimer F dagegen ist 18 Zoll hoch und ebenso weit.

Zu gleichem Zwecke dient auch der Apparat, den Fig. 80 darstellt. Der Abfluſs aus dem Mühlgraben A ist durch die Klappe BC geschlossen, die sich um die horizontale Achse B dreht. Der Wasserdruck allein würde diese Klappe sogleich öffnen, wenn nicht das Gewicht D sie mittelst einer Kette zurückhielte. Letzteres hängt jedoch in einem guſseisernen Cylinder, der im Mühlgraben steht und in der Höhe desjenigen Wasserstandes, wobei der Abfluſs eröffnet werden soll, ringsum mit kleinen Löchern versehn ist. Steigt das Wasser bis hierher, so füllt es den Cylinder, und das Gewicht D ist nicht mehr im Stande, die Klappe geschlossen zu erhalten, woher der Abfluſs beginnt. Senkt sich dagegen der Wasserspiegel im Mühlgraben, so daſs die Löcher kein Wasser dem Cylinder zuführen, so entleert sich der letztere durch die feine Röhre EF und das Gewicht D zieht wieder die Klappe an. Die Röhre EF muſs einen so geringen Querschnitt haben, daſs sie bei eintretender Wirksamkeit der Oeffnungen im Cylinder nicht den ganzen Zufluſs abführen kann, sie wird aber nicht geschlossen und sonach bildet sich für jeden constanten Zufluſs durch die Oeffnungen auch ein constanter Wasserstand im Cylinder, und zwar wird derselbe um so höher sein, je

größer jener Zufluß ist. Auf solche Art erreicht man noch den Vortheil, daß bei höheren Wasserständen im Mühlgraben auch die Klappe um so weiter geöffnet wird. Ein Apparat dieser Art war seit 1817 im Gange, bei demselben ist der gußeiserne Cylinder 5 Fuß 10 Zoll tief und 2 Fuß 1 Zoll weit, das Gewicht *D* ist gleichfalls cylindrisch, sein Durchmesser mißt 2 Fuß und seine Höhe beträgt eben so viel, es wiegt 500 Pfund. Die Klappe, die jedoch eine etwas andere Einrichtung hatte, war 4 Fuß hoch und 4 Fuß breit.

Endlich ist noch eine gleichfalls bei Greenock zur Ausführung gebrachte Einrichtung zu erwähnen, die vom Mühlgraben das überflüssige Wasser dem Speisebassin zuweist, und zwar nicht nur zur Zeit des Hochwassers, wo der Graben zu viel Wasser führt, sondern auch zur Zeit der Dürre, wo er so wenig Zufluß hat, daß die Mühle doch nicht in Betrieb gesetzt werden kann. Die Regulirung geschieht hier durch einen kleinen Seitenzufluß, von dessen Reichhaltigkeit es abhängt, ob das Wasser in das Bassin geleitet wird, oder nicht. Diese Anordnung ist insofern angemessen, als man voraussetzen darf, daß alle benachbarten Quellen nach Maaßgabe der Witterungs-Verhältnisse gleichzeitig reichhaltiger fließen, oder weniger Wasser abführen. Der Mühlgraben nimmt in diesem Falle zwischen dem Speisegraben und der Mühle noch mehrere Quellen und Bäche auf, die zur Zeit eines anhaltenden Regens schon allein das erforderliche Betriebswasser liefern. Bei etwas geringerem Zuflusse darf für die Leitung nur ein Theil des Wassers entnommen werden, und bei noch geringerem gar nichts. Versiegen die Zuflüsse aber immer mehr, so daß eine gewisse Grenze der Dürre erreicht wird, so darf wieder alles Wasser in das Speisebassin geleitet werden, weil alsdann die Mühle wegen Wassermangel doch außer Betrieb gesetzt werden muß. Fig. 81 stellt die Einrichtung dar, welche diese verschiedenen Modificationen des Zuflusses bewirkt. Mallet sagt, daß sechs solcher Apparate eingerichtet wurden, und Robert Thom, von dem alle diese sinnreichen Erfindungen ausgegangen waren, auch hiervon einen günstigen Erfolg sich versprach. *A* ist der Mühlgraben und *B* die Klappe, die seinen Abfluß nach der Mühle sperrt, sie wird aber nicht nur durch den Wasserdruck geschlossen erhalten, sondern außerdem noch durch ein kugelförmiges Gewicht, das besonders dazu dient, sie wieder zu schließen, sobald sie geöffnet war. An

der Klappe befindet sich noch ein zweiter Arm, woran eine Kette befestigt ist, und diese wird angezogen, sobald der Eimer *D* sich füllt. Am Boden des letzteren befindet sich eine Oeffnung, durch welche das hineingeführte Wasser wieder abfliefst, und so verschwindet bei einem geringen, oder noch mehr bei gar keinem Zuflusse sehr bald das Uebergewicht des Eimers *D*, und die Klappe *B* wird alsdann geschlossen. Es kommt darauf an, das Wasser aus dem Seitenzuflusse, der im Bassin *E* gesammelt wird, bei einer gewissen mittleren Ergiebigkeit in den Eimer zu führen und bei gröfserer und geringerer Reichhaltigkeit davon abzuhalten. Dieses geschieht folgendermaafsen. Der Seitenzuflufs tritt durch die Röhrenleitung und durch den Ausgufs bei *F* in den Eimer. Ist er sehr schwach, so kann der Eimer nicht das Uebergewicht bekommen, indem das Wasser sich nicht darin sammelt, sondern schon mit geringer Druckhöhe durch die Bodenöffnung abgeführt wird. Wird dagegen die im Bassin *E* aufgefangene Wassermenge gröfser, so genügt die Bodenöffnung im Eimer nicht mehr, die Ansammlung zu verhindern, und derselbe wird so schwer, dafs er die Klappe *B* öffnet. Wird der Zuflufs noch gröfser, so ist auch die Ausmündung der Leitung *F* nicht mehr genügend, um das Wasser sogleich abzuführen, es steigt alsdann in die cylindrische Erweiterung bei *G*, und hebt den in derselben liegenden Schwimmer, der ein Kegelventil trägt. Sobald dieses gehoben wird, so schliefst es die darüber befindliche Oeffnung und sperrt wieder den Zuflufs zum Eimer. Letzterer entleert sich durch die Bodenöffnung so weit, dafs die Klappe *B* sich schliefst, und sonach hört auch in diesem Falle die Zuführung des Wassers nach der Mühle auf und dasselbe gelangt zum Speisebassin.

Auch in andern Fällen, als gerade bei solchen Wasserleitungen, wovon hier die Rede ist, hat man Vorkehrungen getroffen, wodurch die Erhebung des Wasserstandes über eine gewisse Höhe verhindert wird. Hierher gehören die heberförmigen Ablässe, welche Garipuy am Canal du Midi anlegte. Fig. 82 *a* und *b* zeigen einen solchen im Querschnitte und im horizontalen Durchschnitte, letzteren nach der Linie *AB* des Querschnittes. Hätte man hier nur ein Ueberfallwehr angebracht, so würde, wie bereits erwähnt, eine starke Erhebung des Wasserspiegels im Canale möglich geblieben sein, und die Gefahr vor einem Durchbruche der Canaldämme an der Thalseite wäre nicht beseitigt. Sobald dagegen diese Heber in Wirk-

samkeit treten, so ist die Geschwindigkeit von der Niveaudifferenz des Ober- und Unterwassers abhängig, und die Wirkung wird eben so kräftig, wie bei Grundablässen. Es sind immer je drei solcher heberförmigen Oeffnungen in einer gemeinschaftlichen Mauer angebracht. Sie haben einen oblongen Querschnitt und sind etwa 2¼ Fufs breit und 1¼ Fufs hoch, ihre obere Mündung liegt zwei Fufs über der Canalsohle, wodurch das Eintreiben schwimmender Körper verhindert wird. Die Bodenfläche der Heber erhebt sich in dem höchsten Punkte bis zur Höhe desjenigen Wasserstandes, den man im Canale zu halten pflegt, und in dieser Höhe liegt auch das enge Luftrohr *CD*. Die Wirksamkeit der Heber ist folgende: bis zu dem erwähnten Wasserstande ist jedes Ueberlaufen verhindert, sobald aber der Canal noch mehr wächst, so fliefst durch die Oeffnungen, wie über ein Wehr, etwas Wasser über, doch ist die Menge desselben nicht bedeutend, so lange nicht die Decke des Hebers an der höchsten Stelle erreicht wird. Geschieht dieses, so beginnt die eigentliche Wirkung, da nunmehr die ganze Niveaudifferenz zur Druckhöhe wird. Der Abflufs würde aber ohne das erwähnte Luftrohr nicht früher aufhören, als bis der Canal sich fast ganz entleert hätte. Dieses Rohr unterbricht jedoch die Wirksamkeit des Hebers, sobald der gewöhnliche Wasserstand wieder erreicht ist. Man hat diese Einrichtung, soviel bekannt, bei andern Canälen nie nachgeahmt, sie soll auch insofern nicht empfehlenswerth sein, als sie häufig in Unordnung kommt und schwierige Reparaturen sich dabei oft wiederholen. *)

§. 20.
Filtriren des Wassers.

Die Quellen, so wie auch die Bäche und Flüsse enthalten selten ganz reines Wasser. Die fremden Bestandtheile darin sind zuweilen verschiedene Erdarten, die fein zertheilt im Wasser schweben,

---

*) *Programme ou Resumé des Leçons d'un cours de construction*, *ouvrage de feu Mr. Sganzin*, *quatrième édition par Reibell. Paris* 1839. *Tom. II. p.* 136.

ohne mit demselben in chemische Verbindung getreten zu sein, häufig findet Letzteres auch in so geringem Maafse statt, dafs diese Verunreinigung unbeachtet bleiben darf. Aufserdem rührt die Verunreinigung des Wassers in manchen Fällen auch von Stoffen her, die in gröfserer Menge darin aufgelöst sind, und weder durch Trübung, noch auch durch Färbung sich zu erkennen geben. Manche Gebirgsarten sind im reinen Wasser löslich, wie Gyps, Steinsalz u. a. Viel häufiger ist aber Kohlensäure, und zuweilen sogar in sehr grofser Menge im Quellwasser enthalten. Auch andres Wasser, das lange mit der Luft in Berührung bleibt, zieht aus der Atmosphäre die Kohlensäure an. Besonders nachtheilig ist aber die Verunreinigung, wenn das Wasser organische Stoffe enthält, die bereits in Fäulnifs übergegangen sind. Es nimmt alsdann einen faulen, widerlichen Geschmack an, und es erzeugen sich darin Pflanzen und Thiere, woher man vor solchem Wasser die Leitungen besonders bewahren mufs. Sobald aber eine gröfsere Menge Kohlensäure im Wasser enthalten ist, so wird dessen auflösende Kraft verstärkt, und namentlich verbindet es sich alsdann leicht mit kohlensaurem Kalk, und nimmt grofse Massen desselben auf. Dasselbe geschieht mit dem weit verbreiteten kohlensauren Eisenoxydul, welches dem Wasser oft eine braune Farbe giebt.

Dieses sind die gewöhnlichsten chemischen Verbindungen, die sich im Quell- und Flufswasser vorfinden. Wie man dieselben erkennt, gehört nicht hierher, und ebensowenig die Auseinandersetzung der Methode, wodurch einer oder der andere fremde Bestandtheil daraus geschieden werden kann. Letzteres geschieht auch niemals bei gröfseren Wasserleitungen, man beschränkt sich vielmehr nur darauf, die im Wasser schwebenden Theilchen, die also nicht chemisch damit verbunden sind, zu entfernen. Nur in kleineren Filtrir-Apparaten wird die Kohle, und zwar vorzugsweise die Knochenkohle, benutzt, um dem Wasser den faulen Geschmack zu nehmen, oder es werden auch chemische Mittel angewendet, um die Reinigung eines unbrauchbaren und selbst eines trüben Wassers entweder eintreten zu lassen, oder doch zu befördern. So wird zu diesem Zwecke in Paris der Alaun benutzt, in Egypten reibt man dagegen eine Art Brod, das aus Mandeln gebacken ist, an die Wände eines thönernen Gefäfses, und indem man darin das Wasser stark

umrührt, so klärt es sich in wenig Stunden auf, und nimmt einen reinen Geschmack an. *) Aehnliche Vorrichtungen kommen bei gröfseren Anstalten, von denen hier nur die Rede sein kann, nicht vor, diese beziehn sich vielmehr allein darauf, durch längere Ruhe die im Wasser schwebenden Erdtheilchen niederzuschlagen, oder sie durch Filtriren zu entfernen. Es handelt sich hier also immer nur um die Lösung der mechanischen, aber nicht der chemischen Verbindungen.

Das erste Mittel, nämlich das Niederschlagen durch blofse Ruhe, hat bei der Anwendung im Grofsen manche Schwierigkeiten. Das aus einem schnell fliefsenden Strome geschöpfte Wasser ist gewöhnlich sehr trübe, und pflegt in den ersten 24 Stunden noch nicht den nöthigen Grad von Klarheit und Reinheit zu gewinnen, so dafs es längere Zeit hindurch stehn mufs. Dieser Umstand bedingt die Anlage von mehreren, nämlich wenigstens drei Bassins, deren jedes den ganzen Bedarf für einen vollen Tag fafst. Wenn man aber die häufigen Reinigungen und Reparaturen berücksichtigt, so sind sogar vier solcher Bassins erforderlich. Die Beschaffung des dazu nöthigen Raumes ist in der Nähe grofser Städte, und besonders da eine bestimmte Localität Hauptbedingung bleibt, und man eine willkührliche Verlegung nicht vornehmen darf, sehr schwierig und kostbar. Ebenso veranlafst ihre Einrichtung und Unterhaltung auch grofse Kosten. Besonders nachtheilig ist es aber, dafs solche Bassins, wenn sie die nöthige Ausdehnung haben, nicht leicht den Sonnenstrahlen und dem Staube durch eine Verdachung entzogen werden können. Im Winter tritt ein anderer Uebelstand ein, der eben so nachtheilig ist, indem das Wasser bis zum Gefrieren erkaltet. Aus diesen Gründen mufs man von der Klärung des Wassers durch blofse Ruhe meist absehn, wenigstens in dem Falle, wenn die beabsichtigte Reichhaltigkeit der zu speisenden Wasserleitung die Anlage ausgedehnter Bassins erfordert. Handelt es sich dagegen nur um kleinere Reservoire, die mit einem Gewölbe überspannt werden können, so verschwinden die erwähnten Nachtheile beinahe ganz.

Man kann einem Bassin, in welchem das Wasser geklärt werden soll, gewöhnlich keine bedeutende Tiefe geben, weil die Höhe, zu der das Wasser gehoben wird, in gleichem Maafse vergröfsert

---

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1836. I. *p.* 102.

werden müfste. Die Maschine mufs nämlich so kräftig wirken, dafs sie das Bassin bis zum Rande füllen kann, während die Röhre, welche das reine Wasser abführt, nur in der Nähe des Bodens liegen darf, weil sonst von dem Inhalte des Bassins jedesmal ein grofser Theil unbenutzt zurückbliebe. Wenn es demnach darauf ankommt, eine grofse Wassermasse im Bassin zu fassen, so mufs dieses eine bedeutende Länge und Breite erhalten. Es giebt deren viele, die über hundert Fufs breit und mehrere hundert Fufs lang sind, woher eine Ueberdachung und vollends eine Sicherstellung gegen Erwärmung und Frost nicht ohne sehr grofse Kosten möglich ist. Man pflegt daher bei ihrer Anlage vorzugsweise nur die möglichste Wasserdichtigkeit zu berücksichtigen. Zu diesem Zwecke besteht der Boden meist aus einem sorgfältig ausgeführten und mehrere Fufs mächtigen Thonschlage, und die Seiteneinfassungen werden durch starke Mauern gebildet, an welche gemeinhin auf der äufsern Seite sich noch Erdböschungen anlehnen. Aufserdem mufs man die ganze Anlage so einrichten, dafs sie vor heftigen Winden geschützt ist.

Endlich mufs man auch die häufig vorkommenden Reinigungen berücksichtigen, denn das Bassin würde sonst nicht nur durch die Niederschläge sich immer mehr verflachen, sondern sich auch als ganz unwirksam erweisen, wenn hohe Schlammschichten darin lägen. Zu diesem Zwecke pflegt man die Sohle nicht nur zu befestigen, so dafs sie ohne beschädigt zu werden, gespült und gefegt werden kann, sondern man giebt ihr auch regelmäfsige Gefälle und versieht sie mit Rinnen, die zu besondern Ausflufsöffnungen führen, um alles Wasser und allen flüssigen Schlamm daraus leicht entfernen zu können. Gemeinhin fällt die Sohle des Bassins von beiden Seiten nach der Mittellinie sanft ab, und hier befindet sich eine flache, ausgemauerte Rinne, die etwa 4 Fufs weit ist, und mit geringem Gefälle nach derjenigen Ausflufsmündung führt, die nur bei vorkommenden Reinigungen benutzt wird. Um aber die Schlammablagerungen durch Fegen alsdann sicher beseitigen zu können, ohne die Sohle anzugreifen, so wird diese mit einem gut schliefsenden und fest eingerammten Steinpflaster versehn. In solcher Art pflegt man diese Bassins in England zu behandeln, und ihre Reinigung erfolgt besonders leicht und vollständig, wenn sie in kurzen Zwischenzeiten vorgenommen wird.

Beim Filtriren des Wassers werden die darin schwebenden

Erdtheilchen nicht nur vollständiger, sondern, wenn das Filtrum die gehörige Ausdehnung hat, auch schneller ausgeschieden. Es tritt dabei gar keine Unterbrechung der Bewegung ein. Während die Pumpe das Wasser unaufhörlich zuführt, reinigt sich das Wasser, und tritt sogleich in die Leitung. Hierdurch werden die oben erwähnten Uebelstände umgangen, und man hält allgemein, wenigstens bei grofsen Wasserleitungen, das Filtriren für viel zweckmäfsiger, als das Klären durch Ruhe.

Kleine Filtrirapparate werden nicht nur mit Sand und Kies, sondern auch mit Schwämmen, porösen Steinen, Kohlen und andern Stoffen gefüllt, und sind häufig ziemlich künstlich eingerichtet. Im Grofsen, und wenn sie zur Speisung ausgedehnter Wasserleitungen dienen, werden sie dagegen jedesmal sehr einfach angeordnet. Auf dem Boden des wasserdichten Bassins werden Canäle dargestellt, in welchen das filtrirte Wasser sich sammelt, darüber befinden sich Schüttungen von groben, von kleineren Steinen, von Kies und von Sand, so dafs der feinste Sand, in welchem die Filtration erfolgt, die obere Lage bildet. Das trübe Wasser überdeckt den Sand noch mehrere Fufs hoch. Indem es ihn durchdringt, klärt es sich, und dringt bis zu den Canälen herab, die es sogleich der Leitung zuführen.

Der gröfste Uebelstand beim Gebrauche dieser Filtrirvorrichtungen besteht darin, dafs die erdigen Stoffe, die sich aus dem Wasser ausscheiden, die Zwischenräume zwischen den Sandkörnchen verstopfen, und dadurch nicht nur die Wirksamkeit der Anlage, oder die Ergiebigkeit des Filters in kurzer Zeit schwächen, sondern bald sogar ganz unterbrechen. Um dieses zu verhindern, mufs man von Zeit zu Zeit die obere Lage der Sandschüttung entfernen, und durch eine reine ersetzen. Dieses ist aber bei grofsen Apparaten mit bedeutenden Kosten verbunden, und man hat daher versucht, Vorrichtungen zum Selbstreinigen des Filters anzubringen, oder abwechselnd Strömungen in entgegengesetzten Richtungen darzustellen. Die Erdtheilchen, welche im Wasser schwebten und von demselben in die Zwischenräume des Sandes hineingezogen wurden, bis sie irgendwo nicht weiter dringen konnten und stecken blieben, verhindern nämlich die Bewegung des Wasser nur in dessen bisheriger Richtung, sobald aber eine Strömung von unten nach oben eintritt,

so werden sie auf demselben Wege entfernt, auf dem sie eingedrungen waren.

Diese Einrichtung hat unter Andern der Ingenieur Thom zu Greenock in Ausführung gebracht. *) Er erbaute drei Filtrir-Bassins, jedes 50 Fuſs lang, 12 Fuſs breit und 8 Fuſs hoch, die so eingerichtet waren, daſs das zu filtrirende Wasser beliebig von oben oder von unten eingeleitet werden konnte. Das Sandbette, bestehend aus feinem, gehörig ausgewaschenem Kiessande, hatte eine Höhe von 5 Fuſs, darin befand sich auch Knochenkohle, um dem Wasser die geringe Färbung und den unangenehmen Beigeschmack, der von seiner Ansammlung in Moorgegenden herrührte, zu benehmen. Das so gewonnene Wasser war vollkommen klar, farblos und von reinem Geschmacke. Mit der Zeit wurde indessen die Wirksamkeit des Filters geschwächt. Alsdann verschloſs man die Ableitungsröhre am Boden des Bassins, und lieſs das Wasser nicht mehr von oben, sondern von unten eintreten, und zwar unter einem etwas verstärkten Drucke. Es quoll alsdann sehr trübe an der Oberfläche des Filters hervor. Man leitete dieses durch eine besondere Oeffnung ab, und die Reinigung ging so schnell von statten, daſs schon nach wenig Minuten wieder klares Wasser folgte, worauf die Richtung des Stromes aufs Neue verändert wurde, und das Filter in gewöhnlicher Art wirkte. Dasselbe zeigte sich anfangs auch recht kräftig, doch sagt Thom selbst, daſs man hierdurch die Wirksamkeit keineswegs für beständig sichern könne, vielmehr müsse das Sandbette von Zeit zu Zeit erneut werden. Nichts desto weniger meint er, daſs dennoch die Unterhaltung wohlfeiler, als bei der gewöhnlichen Einrichtung sei.

Diese Erwartung ist wohl nicht in Erfüllung gegangen. Schon früher untersuchte eine Commission, deren Mitglied Telford war, einige Filtrir-Apparate ähnlicher Art, und berichtete darüber nicht vortheilhaft. Namentlich hatte sie gefunden, daſs die aufwärts gerichtete Strömung das ganze Sandbette in Bewegung setzt, und es so in Unordnung bringt, daſs später der Sand in die Unterlage dringt. Die Commission spricht die Ansicht aus, daſs alle Versuche zur Darstellung entgegengesetzter Strömungen in den Filtrir-Apparaten theils unwirksam und theils mit andern Nachtheilen verbunden, aber jedenfalls sehr kostbar sind. **)

*) *Annales des ponts et chaussées*, 1831. I. *p.* 222.

**) *Life of Telford.* London 1838. *p.* 645.

Um an einem Beispiele die erwähnte Einrichtung näher zu beschreiben, wähle ich die Filtriranstalt, die man bei Couchin ohnfern Cherbourg erbaut hat, um das Wasser der Divette, bevor es nach dem Arsenale und der Stadt Cherbourg geleitet wird, zu reinigen. Fig. 83*a* Taf. VI zeigt den Durchschnitt durch die Mitte des Gebäudes und Fig. 83*b* den Grundrifs in der Höhe der Sohle des Zuleitungscanals. Dieser Zuleitungscanal *AB* führt das zu reinigende Wasser nach dem Filter *C*, worauf es in die beiden Bassins *D* und *E* tritt. Letztere stehn durch die überwölbte Oeffnung *F* unter dem erwähnten Canale mit einander in Verbindung und speisen die Röhrenleitung *G*. Das Filter befindet sich in einem gemauerten Bassin. Auf sieben Unterlagen, die der Länge nach durchreichen, liegen die Roststäbe, welche den groben Kies tragen, auf letzteren ist feinerer Kies und darüber Sand geschüttet. Mit dem Raume unter dem Filter steht eine gufseiserne Röhre *I* in Verbindung, die am Boden des Zuleitungscanals dicht vor dessen Ausmündung abgeht, demnächst aber auch zwei kurze Röhren *H*, die zu den Bassins *D* und *E* führen. In den obern Theil des Filters, oder über dem Sandbette mündet der Zuleitungscanal, ferner die beiden kurzen Röhren *K*, welche die Verbindung mit den Bassins *D* und *E* darstellen und endlich die Röhre *L*, welche den Anfang der Röhrenleitung *G* bildet. Wenn das Filter von unten gespeist wird, so ist das Schütz *B* an der Ausmündung des Zuleitungscanals geschlossen und die Röhre *I* geöffnet, wodurch das trübe Wasser unter den Rost tritt. Indem zugleich die beiden Röhren *H* geschlossen sind, so mufs das Wasser von unten nach oben das Filter durchdringen, und fliefst durch die Röhren *K* nach den beiden Reservoiren *D* und *E*, oder unmittelbar durch die Röhre *L* nach der Leitung ab. Im entgegengesetzten Falle, wenn der Wasserstand im Zuleitungscanale niedriger wird, so mufs das Filter von oben gespeist werden, weil man sonst nicht den nöthigen Druck darstellen könnte, um das Wasser hindurchzutreiben. Die Röhre *I* wird alsdann geschlossen und dagegen das Schütz *B* geöffnet. Ferner schliefst man die Oeffnungen *K* und die Röhre *L*. Sobald das Wasser unter dem Roste anlangt, fliefst es durch die Oeffnungen *H* in die Reservoire *D* und *E* und aus diesen durch die beiden Mündungen *M* in die Röhrenleitung *G*. Durch die beiden Röhren *M* kann man auch die Reservoire entleeren, falls sie bei der Umkehrung der Strömung mit trübem Wasser ge-

füllt sind, oder falls das Filter wegen Reparaturen aufser Thätigkeit gesetzt wird.

In den von Fonvielle angegebenen Filtern, die mehrfach in Frankreich angewendet sind, findet gleichfalls die Reinigung durch aufwärts gerichtete Strömung statt. Dieselben unterscheiden sich vorzugsweise von den sonst üblichen durch den übermäfsigen Druck, unter dem sie wirken und der nach einzelnen Versuchen bis 200 Fufs und darüber gesteigert ist, wodurch die Ergiebigkeit von 1500 Cubikfufs für den Quadratfufs in 24 Stunden erreicht sein soll. Augenscheinlich läfst sich dieser Druck, der wahrscheinlich durch Compression der Luft erzeugt wird, nicht bei grofsen Bassins darstellen, vielmehr nur in eisernen Gefäfsen, die nur 6 bis 8 Quadratfufs Oberfläche hatten. — Dabei mag sogleich bemerkt werden, dafs man in neuerer Zeit auch vorgeschlagen hat, die Wirksamkeit der Filter dadurch zu verstärken, dafs man unter der Schüttung die Luft verdünnt.

Wenn man eine Wasserleitung mit Flufswasser speist und dieses reinigen will, so kann man die Sandablagerungen, welche gemeinhin neben dem Flufsbettte liegen, als natürliche Filter benutzen, und es genügt schon, eine Vertiefung darin zu bilden und selbige auszupumpen, weil das zudringende Wasser beim Durchgange durch den Sand filtrirt wird. Diese Reinigung, welche eigentlich bei allen Brunnen stattfindet, die in sandigem Boden das Grundwasser sammeln, hat man mehrfach auch zum Filtriren gröfserer Wassermengen benutzt, und namentlich ist dieses bei Glasgow geschehn. Am Ufer des Clyde, und zwar in einer vortretenden Sandbank, wurden, wie Matthews angiebt, etwa 30 Stück cylindrische horizontale Röhren von 2 Fufs lichtem Durchmesser und in 33 Fufs Abstand von einander in Ziegeln, jedoch ohne Mörtel ausgeführt und mit Kies und reinem Sande beschüttet. Diese Röhren oder Gewölbe standen sämmtlich mit einer querlaufenden Gallerie in Verbindung, welche die gufseiserne Saugeröhre der Dampfmaschine speiste. Der Erfolg entsprach freilich Anfangs nicht den Erwartungen, und zwar trat der Uebelstand ein, dafs eine Menge Sand in die Pumpen kam. Nichts desto weniger ist dieses Verfahren doch beibehalten worden und der erwähnte Uebelstand scheint auch beseitigt zu sein. Dagegen bemerkte man bald, dafs das Wasser, obwohl es Anfangs in hinreichender Menge eingedrungen war, abnahm, indem dieses natür-

liche Filter sich ebenso wie die künsilichen verstopfte. Man mufste daher eine weitere Ausdehnung der Leitungen vornehmen, um den Bedarf an andern Stellen zu sammeln. Dieser Umstand war vorzugsweise Veranlassung, dafs man bei Greenock die abwechselnde Strömung in dem Filtrirapparate einrichtete.

Wenn man die Sandschellen neben dem Flufsbette zum Filtriren des Wassers benutzt, so kann man kaum erwarten, dafs nicht auch hier die Oberfläche, durch welche das Wasser in den Sand eintritt, sich nach und nach mit Schlamm versetzt und dadurch die Wirksamkeit schliefslich aufhört. Nichts desto weniger ist in diesem Falle die Ausdehnung der Sandmasse, und namentlich der vom Flusse berührten Oberfläche, viel gröfser, als bei allen künstlichen Filtern, und es ist daher im Allgemeinen wohl anzunehmen, dafs die Sperrung der Zwischenräume hier viel langsamer vor sich geht. Von grofser Wichtigkeit sind dabei aber die im Flufsbette eintretenden Veränderungen, und am vortheilhaftesten ist es gewifs, wenn die Sandschelle zu Zeiten abbricht, zu Zeiten aber wieder anwächst, weil in diesem Falle der Strom selbst die Beseitigung der verunreinigten Schichten und deren Ersetzung durch andre veranlafst. Andrerseits wird aber das Filter ganz unbrauchbar, wenn Thonschichten auf und neben dem Sandfelde sich ablagern sollten. Endlich kommt die Entfernung des Sammelbassins oder des künstlichen Quelles vom Flusse in Betracht, und ebenso die Höhenlage des Wasserspiegels in demselben. Je tiefer man diesen durch die Pumpen senkt und je näher das Bassin am Flusse liegt, um so kräftiger dringt das Wasser hinzu, oder um so schneller filtrirt dasselbe. Aus diesem Grunde empfiehlt es sich auch, den Bassins eine grofse Ausdehnung in der Richtung des Flusses zu geben, wenn man bedeutende Wassermassen gewinnen will. Nur die äufsere Oberfläche der dazwischen befindlichen Sandablagerung bewirkt die Filtration, dieselbe mufs also möglichst vergröfsert werden, und die Ergiebigkeit wird daher nicht vermehrt, wenn man das Bassin landwärts, also normal gegen die Richtung des Flusses verlängert.

Bei diesen natürlichen Filtern rühmt man noch, dafs das Wasser unabhängig von der Temperatur des Flufswassers, die Wärme des Erdbodens annimmt, also im Sommer sich abkühlt und im Winter sich erwärmt. Es ist jedoch kaum zu erwarten, dafs bei kräftiger Filtration diese Ausgleichung dauernd erfolgen möchte, vielmehr

dürfte die Sandmasse nach und nach die Temperatur des hindurchfließsenden Wassers annehmen.

Die wenigen Erfahrungen über Filter dieser Art, die zum Theil auch den Erwartungen nicht entsprachen, haben bisher noch nicht unbedingtes Vertrauen dafür erweckt, noch auch zu allgemein gültigen sichern Schlufsfolgen berechtigt. D'Aubuisson hat in dem oben angeführten Aufsatze*) über die Wasserleitung zu Toulouse das Terrain, worauf die Filter eingerichtet wurden, und die dabei gemachten Erfahrungen sehr sorgfältig und vollständig beschrieben.

Dicht oberhalb des Maschinengebäudes befindet sich am linken Ufer der Garonne neben der Strafse Dillon eine ausgedehnte Kiesbank, welche zur Darstellung der Filter benutzt ist. Fig. 84 zeigt dieselbe. Sie besteht gröfstentheils aus Kies und Sand, doch finden sich darin auch gröfsere Geschiebe und hin und wieder thonige Niederschläge. An der Stelle, wo das Filter I angelegt wurde, hatte man versuchsweise eine Grube ausgehoben und die Wassermenge gemessen, die hineindrang. Man erwartete hiernach, dafs ein Filter von 105 Fufs Länge und 73 Fufs Breite, das bis $3\frac{1}{4}$ Fufs unter den niedrigsten Wasserstand der Garonne herabreicht, die verlangten 200 Wasserzoll geben würde. Obgleich die Schlufsfolge nicht ganz sicher war, auch sogleich in Zweifel gestellt wurde, so kam der Vorschlag dennoch zur Ausführung, und mit der Darstellung des Filter I wurde der Anfang gemacht. Eine gufseiserne Röhrenleitung führte das angesammelte Wasser vom Punkte A über B und D nach dem Maschinengebäude C. Als man zu pumpen anfing, zeigte es sich, dafs das Resultat bedeutend unter dem erwarteten blieb, man hatte durchschnittlich kaum 60 Wasserzoll, aber das Wasser war rein, und blieb auch klar, wenn die Garonne sich stark trübte. Um die Zuflüsse zu vermehren, gab man darauf dem Filter eine Ausdehnung von 344 Fufs und schlofs es zugleich mit Deichen ein, um das höchste Wasser davon abzuhalten. Die Zunahme der Wassermenge entsprach jedoch keineswegs dieser Verlängerung und betrug kaum 30 Zoll, so dafs man immer noch nicht die Hälfte von dem hatte, was man brauchte. Der Grund von der geringen Ergiebigkeit der Verlängerung des Filters lag augenscheinlich darin, dafs die zuerst eröffnete Strecke schon ringsum das Wasser angesogen hatte und

*) *Annales des ponts et chaussées*, 1838. S. 273 ff.

man also bei der weiteren Fortsetzung nicht mehr den stark durchnäfsten Boden, wie das erste Mal, antraf.

Bald zeigte sich ein zweiter Uebelstand. Das filtrirte Wasser war Anfangs rein und klar, im zweiten Jahre bildete sich ein starker Pflanzenwuchs in dem offenen Bassin und das Wasser nahm schon einigen Beigeschmack an. Im dritten Jahre vergröfserte sich das Uebel auf eine sehr unangenehme Art, woran namentlich die grofse Hitze Schuld war. Die Pflanzen vegetirten aufs üppigste in dem Bassin, und ihre Beseitigung war unmöglich. Frösche und andere Thiere fanden sich in grofser Anzahl ein, und indem sie hier starben und faulten, wurde das Wasser in dem folgenden Jahre ganz unbrauchbar. Eine Aenderung der ganzen Einrichtung war daher dringend nöthig, das Filter mufste überdeckt werden. Auf d'Aubuisson's Rath wurde dasselbe so gut wie möglich gereinigt und am Boden ein überwölbter Gang in gebrannten Steinen, jedoch mit offenen Fugen, ausgeführt, worin das Wasser sich ansammeln sollte. Zur Seite desselben und darüber brachte man eine Schüttung von grofsen Steinen an, die beinahe die ganze Höhe der Ausgrabung füllte. Ueber diese schüttete man kleinere Steine, dann Kies und endlich trug man die Deiche wieder ab und füllte mit dem Sande, woraus sie bestanden, die Vertiefung vollends aus. So war die ursprüngliche Oberfläche wieder hergestellt und konnte in ihrer ganzen Ausdehnung als Viehweide benutzt werden. Eine Beaufsichtigung des Filters, die früher nothwendig gewesen war, wurde dadurch entbehrlich, doch führte bei *A* eine Treppe herab und von hier aus konnte man den Zustand und die Wirksamkeit der Anlage jederzeit beobachten. Die Resultate dieser Aenderung waren höchst befriedigend. Das Wasser nahm seine frühere Klarheit und Frische wieder an und hat dieselbe seitdem behalten. Selbst während der heifsesten Zeit erreicht es keine höhere Temperatur als etwa 13 Grad Réaumur, und im Winter 1830, nachdem es 25 Tage hindurch stark gefroren hatte, zeigte es noch 6 Grade über dem Gefrierpunkte. Die gesammten Kosten für die Anlage und die Abänderungen dieses Filters beliefen sich auf 44700 Francs, doch meint d'Aubuisson, dafs es für die halbe Summe sogleich in seiner letzten Gestalt hätte eingerichtet werden können.

So günstig das erreichte Resultat in gewisser Beziehung war, so genügte es doch nicht, denn man brauchte 200 Wasserzolle und

hatte deren noch nicht 100. Statt auf dem bereits mit Glück verfolgten Wege weiter fortzufahren, schenkte die städtische Behörde einem Brunnenmacher ihr Vertrauen, der die Ausführung einer Reihe Brunnen vorschlug, die mit einander in Verbindung gesetzt werden sollten. Ob man solche Brunnen, oder eine zusammenhängende Gallerie baute, konnte im Wesentlichen keinen Einfluſs haben, nur die Kosten vermehrten sich durch diese Aenderung. Das erste Filter war durchschnittlich 15 Ruthen vom Strome entfernt, und die Erfahrung hatte gezeigt, daſs dieses genügte. Es blieb ungewiſs, ob eine Aenderung in dieser Beziehung vortheilhaft sein würde, und da man dieses voraussetzte, so verlegte man das neue Filter, wie die Figur zeigt, zwischen *D* und *E* in einen Abstand von etwa 3 Ruthen vom Flusse. Im Anfange des Jahres 1827 wurde dieses Project genehmigt. Auf eine Länge von 24 Ruthen wurden, nachdem ein Graben hier eröffnet war, 11 Brunnen versenkt, deren oberer Rand etwa 4 Fuſs unter dem Boden lag. Man verband sie unter einander durch guſseiserne Röhren, bedeckte sie mit guſseisernen Platten und überschüttete Alles mit Kies. Das Wasser dieses zweiten Filters vereinigte sich bei *D* mit dem des ersten und beide wurden zusammen nach den Pumpen geführt. Die Kosten dieser neuen Einrichtung beliefen sich auf etwa 27000 Francs, die Resultate waren aber in keiner Beziehung befriedigend. Man gewann nicht mehr als 60 und höchstens 80 Wasserzoll, und das Wasser hatte einen modrigen Geschmack, weil die Brunnen zum Theil in schlammigem Boden versenkt waren. Das Uebelste war aber, daſs das Wasser immer beinahe die Temperatur des Flusses annahm und zwischen 17 und 2 Graden Réaumur wechselte. Die groſse Wärme verursachte wieder, obgleich der Zutritt der Luft und des Lichtes abgeschlossen war, einen starken Pflanzenwuchs und zwar von feinen Wasserpflanzen, die man durch dichte Drahtgewebe von den Leitungsröhren abzuhalten suchte, die aber wegen ihrer Feinheit dennoch das Wasser mit kaum sichtbaren Fäden verunreinigten. Ein anderer Uebelstand war, daſs die Röhren bei der geringen Strömung, die in ihnen stattfand, und bei der höheren Temperatur stark rosteten. Der Eisengehalt des Wassers färbte auch den Marmor in den Bassins der Springbrunnen und flieſsenden Brunnen. So hatte dieses zweite Filter in keiner Beziehung den Erwartungen entsprochen, man wollte es auch eingehn lassen, doch waren einige Stimmen dafür, es

noch beizubehalten und nur die eisernen Röhren durch steinerne zu ersetzen.

Die Anlage eines dritten Filters war nicht zu umgehn. Im Anfange des Jahres 1829 legte man dasselbe an, und gab ihm nicht nur die nöthige Ausdehnung, um den noch fehlenden Bedarf von 40 bis 50 Wasserzoll zu decken, sondern richtete es so ein, daſs es 160 Zoll lieferte, und man also für den gewöhnlichen Gebrauch das zweite Filter entbehren konnte. Man berücksichtigte bei seiner Darstellung nur die Erfahrungen, die man beim ersten Filter gemacht hatte. Es ist von *F* bis *G* 66 Ruthen lang, 8 bis 13 Ruthen vom Strome entfernt, und seine Sohle liegt 3 Fuſs 8 Zoll unter dem niedrigsten Wasserstande. Fig. 85 zeigt das Profil dieses Filters. Der Canal, worin sich das Wasser ansammelt, ist 4 Fuſs 9 Zoll hoch und 1 Fuſs 11 Zoll weit, man kann also noch hineingehn und die nöthigen Reinigungen vornehmen. Die Seitenmauern bestehn aus Ziegeln, die ohne Mörtel nur im Verbande übereinander gelegt sind, und Steinplatten überdecken die Oeffnung. Der Raum zur Seite ist mit Steinen ausgefüllt. Darüber ist 2 Fuſs hoch grober Kies geschüttet und das Ganze bis zur ursprünglichen Höhe mit Sand bedeckt. Um einen festen Rasen darüber zu bilden, wurde sogleich Gras-Samen ausgestreut.

Das Wasser dieses dritten Filters kann bei *B* mit dem des ersten vereinigt werden, es kann aber auch über den Punkt *K* besonders zum Maschinengebäude gelangen. Castel machte später noch die sehr vortheilhafte Abänderung, daſs er unter der letzten Zuleitung in einem überwölbten Canale das Wasser des zweiten Filters von *D* nach *L* in das Unterwasser des Betriebsgrabens führte. Hierdurch wird es möglich, ohne daſs man eine künstliche Ausschöpfung vornehmen darf, die beiden Filter I und II trocken zu legen. Man kann aber auch das Wasser des Filters III nach dem Unterwasser leiten, und sonach entweder alle drei Filter oder jedes einzelne derselben beliebig reinigen, während die andern die Pumpen speisen. Das Wasser dieses dritten Filters ist, so lange die Garonne in ihrem Bette bleibt, vollkommen rein und klar, nur wenn sie die Sandbank überströmt und dabei sehr trübe ist, so wird das hier filtrirte Wasser auch etwas getrübt. In dieser Zeit ist aber das erste Filter sehr ergiebig, auf welches der hohe Wasserstand nur wenig Einfluſs hat. Man läſst alsdann das Wasser des dritten Filters gar nicht zur Ma-

schine gelangen, sondern leitet es in das Unterwasser. Ein andrer Uebelstand ist der, dafs sich auch hier zum Theil jene feinen Pflänzchen bilden, von denen beim Filter II die Rede war. Das dritte Filter nebst der Leitung nach dem Unterwasser kostete 68000 Francs.

Im Ganzen kann man die Anlage dieser Filter als gelungen ansehn. Der Bedarf war überreichlich gesichert, und man kann ohne Unterbrechung des Dienstes die von Zeit zu Zeit nöthig werdenden Reinigungen vornehmen. Das Wasser ist auch vollkommen klar, und selbst, wenn die Garonne in eine Schlammasse verwandelt zu sein scheint, behält es seine volle Reinheit. Besonders wichtig ist eine Bemerkung von d'Aubuisson, die in wörtlicher Uebersetzung lautet: „Ich füge hinzu, dafs man seit der Benutzung unserer Filter, und dieses ist für das erste seit 14, für das zweite seit 12 und für das dritte seit 9 Jahren, keine Abnahme in der Güte und Menge des Wassers bemerkt hat. Die Beschaffenheit desselben hat sich sogar verbessert, und was die Quantität betrifft, so wiederhole ich, dafs man kein Zeichen einer Abnahme wahrgenommen hat, der Dienst geschieht heute noch ebenso wie im Anfange."

Schliefslich ist aber noch zu erwähnen, dafs man für den möglichen Fall eines Abbruches der Sandbank, worauf die Filter liegen, schon zum Voraus die Projecte zu künstlichen Filtern entworfen hat.

Es bleibt noch übrig, von der Einrichtung der gewöhnlichen Filtrirbassins zu sprechen, wobei das zu reinigende Wasser das künstliche Filter beständig in der Richtung von oben nach unten durchströmt. Diese Anordnung, welche in gewisser Beziehung die einfachste ist, wird am häufigsten angewendet, und die grofsen Vortheile, die sie gewährt, bestehn darin, dafs die verschiedenen Schichten des Filters am wenigsten vom Wasser in Unordnung gebracht werden, und man überdies Gelegenheit hat, die Niederschläge, die das Wasser im feinen Sande absetzt, sobald es nöthig ist, zu entfernen und dadurch die dauernde Wirksamkeit des Filters zu sichern. In früherer Zeit, wo man von dem Grundsatze ausging, dafs das Wasser zuerst durch groben, alsdann durch feinen Kies und zuletzt durch Sand geführt werden müsse, um sich zuerst der gröberen und dann der feineren Stoffe zu entledigen, konnte der letzte Vortheil nicht erreicht werden, weil die Sandschicht, die sich

immer zuerst versetzt und alsdann die Durchströmung hindert, so versteckt liegt, dafs bei einer vorzunehmenden Reinigung das ganze Bette ausgehoben werden mufs. Durch einige Ruhe, die man dem Wasser vor seinem Eintritt in das Filter giebt, kann man indessen die gröbsten Stoffe schon entfernen, und jedenfalls ist der feine Sand allein genügend, um die Filtrirung zu bewirken. Es kommt nur darauf an, ihn so sicher zu lagern, dafs er weder durch die unmittelbar darauf gerichtete Strömung aufgespühlt, noch auch in die Ableitungsröhren geführt wird. Um die erste Bedingung zu erfüllen, bemüht man sich, die Strömung möglichst zu mäfsigen. Man läfst das Wasser durch mehrere Oeffnungen und mit sehr geringem Gefälle in flache Rinnen über die Sandschüttung treten, wodurch starke Vertiefungen vermieden werden. Die andere Bedingung glaubt man aber dadurch zu erfüllen, dafs der feine Sand auf gröberem, und dieser auf Kies und Steinen liegt, so dafs die nach und nach zunehmende Erweiterung der Zwischenräume eine Vermischung der Schichten und ein tiefes Eindringen des Sandes verhindert. Der letzte Zweck wird hierdurch aber nicht vollständig erreicht, dagegen gelingt es, durch eine schwache Lage flacher und dünner Körper, den Sand sicherer zurückzuhalten, ohne dafs dem Wasser der Durchgang gesperrt wird.

Es ist bereits oben (§. 7) erwähnt worden, dafs der trockne Sand und ebenso auch der Sand, der in Wasser geschüttet wird, eine bestimmte Neigung in den Seitenflächen annimmt. Dieses geschieht auch noch, wenn er nicht vom Wasser bedeckt ist, sondern dasselbe ihn vielmehr von oben nach unten oder seitwärts durchdringt. Man nehme eine Röhre, etwa den Glas-Cylinder einer Lampe, und befestige dieselbe so, dafs ihr unteres Ende ungefähr einen halben Zoll über einer horizontalen Glastafel schwebt. Schüttet man alsdann sehr vorsichtig Sand hinein, so wird derselbe nicht nur die Röhre füllen, sondern, wenn er ganz trocken ist, auch einen abgestumpften Kegel darunter bilden. Die obere Grundfläche desselben ist die untere Oeffnung der Röhre und seine untere Grundfläche stellt sich als Kreis auf der Glasscheibe dar, und zwar bestimmt sich ihre Gröfse dadurch, dafs die Seiten des Kegels 30 bis 36 Grade gegen den Horizont geneigt sind. Nunmehr tröpfele oder giefse man Wasser in den Cylinder, jedoch so langsam, dafs nicht ein heftiger Stofs gegen den Sand ausgeübt, noch auch eine zu starke Strömung ge-

bildet wird. Das Wasser durchzieht alsdann den Sand, und sobald es den untern Kegel erreicht hat, so verwandelt dieser sich in Triebsand und breitet sich zu einem viel flacheren Kegel aus. Nichts desto weniger gestaltet er sich wieder regelmäſsig, und das ferner durchdringende Wasser bringt in ihm keine weitere Veränderung hervor. Selbst auf der glatten Glastafel wird auſser dem Sande, der wegen der unvollständigen Benetzung auf dem Wasser schwimmt, und der gleich Anfangs abgespült wird, kein Sandkörnchen weiter bewegt. Die untere Grundfläche ist ringsumher scharf begrenzt, wenn sie sich auch stellenweise von der Kreisform bedeutend entfernt, indem die Dossirungen zufällig bald steiler und bald flacher werden. Dieselben sind nunmehr durchschnittlich 18 Grade gegen den Horizont geneigt, doch beträgt ihre Neigung in einzelnen Fällen auch nur 12 Grade, woher man annehmen darf, daſs eine flachere Neigung, als von 5facher Anlage sich niemals bildet. Sobald der Kegel beim ersten Durchflieſsen des Wassers solche Gestalt angenommen hat, so tritt später keine Veränderung darin ein, wie lange auch die Durchströmung fortgesetzt wird. Kein einziges Sandkörnchen wird ferner in Bewegung gesetzt.

Die Erscheinung ändert sich freilich, wenn der Abstand des Cylinders von der Scheibe sehr groſs ist, weil alsdann der Sand durch den untern Rand des Cylinders nicht hinreichend gestützt wird. Als ich letzteren 8 Linien über der Scheibe schweben lieſs, war Anfangs der Erfolg noch derselbe, wie früher, und die Durchströmung geschah, ohne daſs der Sand sich bewegte. Sobald aber die Druckhöhe des Wassers im Cylinder bis auf 6 Zoll zunahm, kam plötzlich die ganze Masse in Bewegung und aller Sand wurde fortgespült.

Der erwähnte Versuch berechtigt zu der Annahme, daſs man das Durchfallen des feinen Sandes sehr sicher verhindern kann, wenn die Unterlage desselben Gelegenheit bietet, daſs unter allen Fugen die fünffache Anlage oder die fünffüſsige Böschung sich bilden kann. Mittelst drei Lagen hart gebrannter flacher Steine oder Fliesen ist dieses sehr leicht zu erreichen, indem die Stoſsfugen der obern Lage durch die Steine der zweiten gedeckt, und an den Punkten, wo beide zusammentreffen, jedesmal die Mitte eines Steines der untern Lage sich befindet. Es dürfte vortheilhaft sein, die Steine nicht mit ebenen Oberflächen zu formen, diese vielmehr oben oder

unten mit flachen Rinnen von 1 bis 1½ Linien Tiefe zu versehn, damit das filtrirte Wasser zwischen zwei Lagen frei abfliefsen kann. Sollte zufällig neben der obern Stofsfuge an einer Stelle der Abstand beider Schichten 2 Linien betragen, so würde der darunter befindliche Stein schon hinreichende Gröfse haben, wenn er auch nur 2 Zoll breit wäre. Hiernach haben jedenfalls Fliesen von 4 oder 6 Zoll im Quadrat schon genügende Ausdehnung, um das Hindurchtreiben des Sandes sicher zu verhindern.

Versuche dieser Art sind im Grofsen noch nie gemacht worden, wiewohl der Vorschlag von Telford, eine dünne Lage flacher Muschelschalen unter die Sandschüttung zu legen, augenscheinlich hiermit in naher Beziehung steht. Telford erklärt diese Vorsicht sogar für geboten, wenn man das Fortführen des Sandes sicher verhindern will *). Der Unterschied zwischen diesem Vorschlage und dem vorstehenden besteht nur darin, dafs nach Ersterem die erforderliche Ueberdeckung der Stofsfugen dem Zufalle überlassen, nach jenem aber sehr sicher künstlich dargestellt wird.

Das übliche Verfahren, wonach man aus verschiedenartigem Material eine Anzahl von Schichten bildet, die sich 8 bis 10 Fufs über die Canäle erheben, durch welche das filtrirte Wasser abfliefst, ist dagegen mit den wesentlichsten Nachtheilen verbunden. Das Durchfallen des feinen Sandes, der die obere Lage bildet, und allein die Filtration bewirkt, wird nur dadurch etwas erschwert, dafs man ihn auf gröberem Sande, diesen auf feinem Kiese und so fort ruhen läfst, so dafs das Material nach unten immer gröber wird. Hierdurch läfst sich aber nicht verhindern, dafs die Strömung einzelne Körnchen fafst und weiter herab führt. Einen augenscheinlichen Beweis dafür, dafs dieses wirklich und zwar nicht nur beim ersten Anfüllen des Filters, sondern auch später geschieht, dürften wohl die Luft-Blasen liefern, die man vielfach aufsteigen sieht, und die zuweilen sogar die Schüttung aufbrechen sollen, zu deren Ableitung man in England auch hölzerne Röhren benutzt, die bis über den Wasserspiegel hinaufreichen, und bis zu den groben Steinen herabgehn. Diese Luftentwickelung erklärt man gemeinhin durch eine Gasbildung, welche durch die chemische Einwirkung der im Wasser schwebenden fremden Substanzen auf den Sand und

*) *Life of Telford. pag.* 645.

die Steine veranlaſst werden soll. Die Ursache ist aber wohl viel einfacher und naturgemäſser darin zu suchen, daſs der Sand durch die Strömung herabgeführt wird und die dadurch entstehenden leeren Räume sich mit der Luft anfüllen, welche von unten her zwischen den Steinen und dem Kiese frei aufsteigen kann. Indem aber die Kiesschüttung und selbst die Steinschüttung nach und nach durch den herabfallenden Sand immer mehr angefüllt wird, so gewinnt dadurch die Sandschüttung an Mächtigkeit und im umgekehrten Verhältnisse vermindert sich die Ergiebigkeit des Filters. Man muſs also, um das erforderliche Wasserquantum zu gewinnen, den Filtrirbassins gröſsere Ausdehnung geben, als wenn man durch passende Anordnung das Hindurchtreiben des Sandes verhindert hätte. Endlich wird durch die übliche hohe Sand- und Steinschüttung auch ein bedeutender Theil der Steighöhe des Wassers verloren, und die Pumpen müssen um so kräftiger sein.

Nachdem vorstehend die Einrichtung groſser Filtrir-Anstalten im Allgemeinen angedeutet ist, mag hier die Beschreibung einer solchen, und zwar der neben den Wasserwerken von Chelsea bei London befindlichen mitgetheilt werden. Es ist dieses eine der wenigen, worin man das Durchfallen des Sandes dadurch zu verhindern gesucht hat, daſs unter demselben eine Schicht Muschelschalen ausgebreitet ist, woher die darunter befindlichen Kies- und Steinlagen etwas schwächer als gewöhnlich werden durften.

Eine Dampfmaschine hebt das Themsewasser in zwei gemauerte Bassins, jedes von zwei Morgen Flächeninhalt. Indem das Wasser hier in Ruhe kommt, läſst es die gröbsten Unreinigkeiten zu Boden fallen, und flieſst in der Nähe der Oberfläche durch kurze Canäle nach den Filtern. Zufluſs und Abfluſs werden dauernd unterhalten, so daſs ein vollständiger Stillstand des Wassers nicht eintritt. Die Niederschläge füllen indessen die Bassins mit der Zeit stark an, woher endlich eine Reinigung nöthig wird. In diesem Fall wird das eine Bassin auſser Thätigkeit gesetzt.

Zum Filtriren sind gleichfalls zwei Bassins eingerichtet, von denen das gröſsere 348 und das kleinere 237 Fuſs lang ist, beide sind 178 Fuſs breit. Ihr Boden besteht 18 Zoll hoch aus einem festen Lehmschlage, die Seitenmauern sind 12 Fuſs hoch, durch Strebepfeiler gestützt, und lehnen sich an Umwallungen, die mit Rasen bedeckt sind. In beiden Filtrirbassins befinden sich parallel

zu den Längen-Achsen derselben gemauerte cylindrische Canäle, nämlich im längeren liegen 9 und im kürzeren 11 solche neben einander, wie Fig. 86, Taf. VII zeigt. Sie sind ungefähr 2 Fuſs weit, aus doppelten Lagen von besonders geformten Steinen mit weiten Fugen ausgeführt, so daſs das Wasser ringsum frei eintreten kann. Eine Lage von kleinen Steinen und grobem Kiese umgiebt sie, und überdeckt sie noch einige Zoll hoch. Hierauf ruht die 6 Zoll hohe Lage Muschelschalen. Alsdann folgt gröberer und zuletzt sehr feiner Sand. Die ganze Stärke der Sandschicht beträgt 5 Fuſs. Alle diese Schichten sind, auſser einer geringen Neigung nach der Länge, auch nach der Breite der Filter nicht horizontal, sondern wellenförmig abgeglichen, so daſs sich zwischen den Canälen vertiefte Furchen bilden. Der Zweck hiervon ist, das Wasser gleichmäſsig zu verbreiten und zu verhindern, daſs es nicht etwa in einem einzigen Strome über das Filter flieſst, wobei es die Oberfläche angreifen würde. In eine jede der so gebildeten Rinnen wird das Wasser aus dem Zuleitungscanale von den Klärungsbassins durch ein besonderes Ausguſsrohr hineingeleitet, und damit es den Sand der obern Schicht nicht fortspült, so tritt es jedesmal zunächst in eine hölzerne Rinne von 3 Fuſs Länge, 6 Zoll Breite und 3 Zoll Tiefe. Aus diesen flieſst es mit wenig Gefälle in die Sandrinnen. Das Material zu allen Schichten muſs vor dem Gebrauche sorgfältig gewaschen und gereinigt werden.

Indem das Wasser das Filter bedeckt, zieht es sich nicht unbemerkt in den Sand ein, sondern es erfolgt ein Aufwallen, wovon bereits die Rede war. Zum Theil rührt dieses wahrscheinlich davon her, daſs vor dem Eintreten des Wassers der Sand bis zu einer gewissen Tiefe trocknete und seine Zwischenräume sich mit Luft anfüllten. Letztere hatte bei der Ueberdeckung mit Wasser nicht Gelegenheit vollständig zu entweichen, sie blieb also im Sande, und indem sie durch die von unten beim Herabfallen des Sandes noch hinzutretende Luft sich zu gröſseren Massen ansammelt, so verstärkt ihr aufwärts gerichteter Druck sich so sehr, daſs sie endlich bald hier, bald dort die obere Sandschicht durchbricht.

Die Filtration erfolgt allein in dem feinen Sande, der die obere Schicht bildet, doch auch keineswegs in der ganzen Stärke derselben, sondern nur bis zur Tiefe von einigen Zollen und vorzugsweise in der

Oberfläche selbst. Auf letzterer lagert sich der Schlamm ab, von dem grofse Massen bis etwa einen halben Zoll tief eindringen, weiter abwärts wird der Sand nur noch wenig verunreinigt. Wenn man zuweilen in noch gröfserer Tiefe, nämlich 6 und sogar bis 9 Zoll noch fremdartige Ablagerungen vorgefunden hat, so dürften diese wohl nicht durch den darüber liegenden Sand hindurchgedrungen, vielmehr beim Brechen der obern Schichten herabgefallen sein.

Indem die Ueberdeckung der Oberfläche und die in die obere Sandschicht eingedrungene Masse die Wirksamkeit des Filters wesentlich schwächt und dieselbe schliefslich vollständig aufhebt, so mufs man von Zeit zu Zeit Reinigungen vornehmen. Bei den Wasserwerken von Chelsea geschieht dieses durchschnittlich alle 14 Tage. Man hebt alsdann in der ganzen Ausdehnung des Filtrir-Bassins eine 1 Zoll hohe Sandschicht ab und ersetzt diese sogleich durch eine neue Lage reinen Sandes von gleicher Stärke. Der abgehobene Sand wird alsdann in kleinen Quantitäten in einer hölzernen Rinne gewaschen, indem man unter kräftigem Umrühren Wasser darüber fliefsen läfst. Wird letzteres nicht mehr getrübt, so ist der Sand gehörig gereinigt und kann demnächst wieder zur Ueberdeckung der Filter benutzt werden.

In den erwähnten Wasserwerken erfolgt die Versetzung der Filter am schnellsten, wenn die Themse bei schmelzendem Schnee oder starkem Regen anschwillt, während hohe Fluthen keinen merklichen Einflufs darauf haben.

Von Bedeutung ist noch die Frage, welche Wassermenge in einem Bassin von gegebener Gröfse täglich filtrirt werden kann. Die Angaben hierüber weichen übermäfsig von einander ab. Der Quadratfufs liefert nach manchen Erfahrungen nur 9, nach andern dagegen 40 und sogar noch mehr Cubikfufs. Jedenfalls hängt die Ergiebigkeit von verschiedenen Umständen wesentlich ab. Zunächst von der Höhe des Wasserstandes über der Sandschüttung, sodann von der Mächtigkeit der letzteren. Diese setzt sich aber noch in die Kies- und Steinschüttung fort, wenn die Zwischenräume in diesen mit dem durchgefallenen Sande sich gefüllt haben. Endlich ist auch zu vermuthen, dafs die Temperatur einen wesentlichen Einflufs auf die Filtration ausübt.

Indem der Einflufs dieser verschiedenen Umstände noch nicht

sicher festgestellt war*), so stellte ich einige Beobachtungen an, die wenn sie sich auch nur auf sehr kleine Dimensionen beschränkten, doch zu Resultaten führten, denen man wegen ihrer Uebereinstimmung mit andern Erfahrungen eine allgemeinere Gültigkeit beimessen darf. Man geht gewöhnlich von der gewifs passenden Voraussetzung aus, dafs das Wasser, indem es zwischen den einzelnen Sandkörnchen hindurchfliefst, sich in ähnlicher Weise, wie in engen Röhren bewegt, doch darf man dabei nicht auf horizontale Röhrenleitungen zurückgehn, vielmehr die verticalen berücksichtigen, von denen oben (§. 16) die Rede war. Darcy bemerkte schon, dafs die durch ein Filter hindurchdringende Wassermenge nicht der Quadratwurzel der Druckhöhe, wie man bisher angenommen hatte, sondern der Druckhöhe selbst proportional sei, dafs man daher durch Vergröfserung der letzteren die Ergiebigkeit in höherem Grade vermehren könne, als man gewöhnlich glaubt. Eine wichtige Frage ist es aber, was man bei einem Filter unter Druckhöhe versteht. Der obere Endpunkt dieser Linie ist zwar durch das Niveau des über dem Sande stehenden Wassers augenfällig gegeben, aber das untere Ende derselben liegt nicht in der Oberfläche der Sandschüttung, sondern soweit unter derselben, als das zwischen den einzelnen Sandkörnchen befindliche Wasser eine zusammenhängende Masse bildet, von der einzelne Theile sich nicht lösen und unabhängig von den obern herabfliefsen können. Diese Wassermasse zieht also, wie in der senkrechten Röhre, das in das Filter tretende Wasser herab, und ist daher bei der Bestimmung der Druckhöhe mit zu berücksichtigen. Die untere Grenze der letzteren liegt also jedenfalls nicht höher, als in der Sohle der Schüttung des feinen Sandes. Ob die Zwischenräume des darunter befindlichen groben Sandes auch ausschliefslich mit Wasser gefüllt sind, ist zweifelhaft, da kaum anzunehmen, dafs die ursprünglich darin enthaltene Luft bei eintretender Durchströmung vollständig daraus entfernt und zugleich mit dem Wasser fortgetrieben sein sollte. In der Kiesschicht, und noch mehr in der Steinschicht, ist dieses gewifs nicht vorauszusetzen, vielmehr kann durch die weiten Zwischenräume in denselben das Wasser sich in Adern auf-

---

*) Mehrere sehr wichtige, an verschiedenen grofsen Filtrir-Bassins angestellte Messungen theilt Darcy mit in dem Werke „*les fontaines publiques de Dijon.*“

lösen, die unabhängig von einander abfliefsen. Sobald dieses aber geschieht, so hängt das Wasser nicht mehr an dem darüber schwebenden, und übt darauf keinen Zug aus, woher die Druckhöhe hier ihre Grenze findet.

Demnächst lag die Vermuthung nahe, dafs die Capillar-Attraction, deren Wirkung ich schon bei engen cylindrischen Röhren unzweifelhaft wahrgenommen hatte, auf die Bewegung des Wassers in feinem Sande einen viel stärkeren Einflufs ausübt. Hierüber so wie auch über die Zunahme der Ergiebigkeit bei höherer Temperatur lagen noch keine Erfahrungen vor.

Der Sand, den ich bei meinen Beobachtungen benutzte, war sehr feiner und rein ausgewaschener Quarzsand, den die See auf dem westlichen Ufer der Insel Hiddens-Oe ausgeworfen hatte. Derselbe war aber nicht unmittelbar vom Strande, vielmehr von der dahinter belegenen Wiese entnommen. Er war also bei den vorhergegangenen Stürmen etwa 50 Ruthen weit vertrieben, wobei die gröbern Körnchen zurückgeblieben waren und er in den stellenweisen Ablagerungen eine sehr grofse Gleichmäfsigkeit zeigte. Die Länge einer Rheinländischen Linie nahmen jedesmal 7 bis 8 Körnchen ein, also der Durchmesser eines einzelnen maafs etwa 0,13 Linien.

Die Feinheit des Sandes läfst sich vielleicht noch sicherer dadurch bezeichnen, dafs man ihn in ganz trockenem Zustande in einen auf einem Teller stehenden Glascylinder schüttet, und in den Teller Wasser giefst. Je feiner der Sand ist, um so höher wird er von dem Wasser benetzt. Im vorliegenden Falle erstreckte sich die Benetzung, die man an der Cylinderwand deutlich wahrnehmen konnte, an einer Stelle bis 20 Linien über das Niveau des äufsern Wassers, durchschnittlich aber auf sehr nahe 18 Linien.

Die Filtrirversuche wurden mit dem bereits filtrirten Wasser der Berliner Wasserleitung in einem Messing-Cylinder angestellt, der nahe 3 Zoll Durchmesser hatte. Um dem Sande eine sichere Unterlage zu geben, durch welche er nicht hindurchfallen konnte, wurde von dem oben erwähnten Princip Gebrauch gemacht, wonach zwischen drei Scheiben flache Böschungen sich bildeten, durch welche das Wasser austrat. Diese Blechscheiben hatten in ihrer Verbindung sehr nahe die Höhe von 1 Linie, also jede war 0,2 Linien stark und eben so weit waren auch die beiden Zwischenräume zwischen ihnen, die durch schmale Streifen desselben Bleches gebildet waren.

In den beiden obern Scheiben waren in Abständen von 3,2 Linien je 9 Spalten von 0,3 Linien Weite mit einer Säge eingeschnitten. Diese Scheiben wurden an den 2 Linien breiten Rändern so mit einander verbunden, daſs die Spalten sich rechtwinklig kreuzten, also zwischen den beiderseitigen Spalten quadratische Räume entstanden. Die dritte Scheibe war in der Mitte von jedem dieser Quadrate mit einer Oeffnung von 1 Linie Weite versehn. Bis zum Rande dieser Oeffnung konnten also nur Böschungen von 5facher Anlage sich bilden. Um mich zu überzeugen, daſs keine namhafte Sandmasse hindurchfiel, versah ich das Gefäſs, worin das hindurchdringende Wasser sich zunächst ansammelte, vor der Ausfluſsmündung mit einer 1 Linie hohen Schwelle, und nachdem ich etwa 5 Stunden hindurch mit dem Apparat experimentirt hatte, waren nur etwa 100 einzelne Körnchen hier aufgefangen.

Es kam noch darauf an, die Sandschüttungen vor Aufwühlungen durch das hineinflieſsende Wasser zu sichern. Zu diesem Zwecke verband ich noch zwei andre durchlochte Scheiben mit einander, von denen jede die in der andern befindlichen Löcher überdeckte. Diese wurden auf die Schüttung gelegt. Um aber die feinen Zwischenräume der Schüttung mit Wasser vollständig zu füllen und das Zurückbleiben der Luft zu verhindern, wodurch unfehlbar das Filtrum stellenweise seine Wirksamkeit verloren hätte, so stellte ich jedesmal den mit trockenem Sande gefüllten Cylinder in ein Gefäſs mit Wasser, so daſs letzteres von unten nach oben in die Schüttung eindringen und vor sich die Luft vollständig heraustreiben konnte.

Zunächst wurde ein halbes Pfund trockener Sand eingeschüttet und in der beschriebenen Art überdeckt und benetzt. Alsdann leitete ich mittelst eines Hebers, dessen Ausfluſs-Mündung leicht beliebig gehoben und gesenkt werden konnte, das Wasser darüber. Der aufsteigende Schenkel dieses Hebers war in nahe horizontaler Richtung weit ausgezogen, so daſs sein Ende, dieser Aenderung unerachtet, stets unter Wasser blieb. Er schöpfte aber aus einem ausgedehnten Becken, daſs über 6 Quadratfuſs Grundfläche hatte, woher der Wasserstand etwa eine Viertel Stunde hindurch sich nicht wesentlich veränderte und daher auch der Zufluſs in den Filtrir-Apparat nicht merklich geringer wurde. Sobald die Zuleitung des Wassers begann, nahm der Wasserstand im Cylinder anfangs zu, sobald er aber ungefähr die passende Höhe erreicht hatte, so wurde der Heber so

weit gehoben oder gesenkt, bis das beabsichtigte Niveau sich darstellte, auch sich nicht mehr merklich veränderte. Alsdann wurde der Wassertand sorgfältig gemessen, und das während einer oder zwei Minuten nach dem Schlage einer Secundenuhr abfliefsende Wasser in einem leichten Blechgefäfse aufgefangen, worauf ich sogleich wieder den Wasserstand maafs. Unmittelbar darnach, also sehr nahe unter denselben Umständen erfolgte eine zweite gleiche Messung. Die beiden Blechgefäfse wurden aber mit ihrem Inhalt gewogen, und daraus die in einer Minute abgeflossene Wassermenge gefunden. Diese beide Messungen stimmten jedesmal sehr gut, und zwar bis etwa auf 1 Procent mit einander überein, doch war die Genauigkeit der ganzen Messung keineswegs so grofs, vielmehr zeigten die Beobachtungen bei verschiedenen Wasserständen in ihrer Vergleichung unter einander weit gröfsere Abweichungen.

Nachdem mehrere Messungen dieser Art an der ersten Schüttung gemacht waren, wurde dieselbe entfernt, und dafür 1 Pfund trocknen Sandes eingeschüttet, später aber 1½ Pfund.

Die nachstehende Zusammenstellung enthält die Resultate der einzelnen Beobachtungen. h ist die Höhe der Sandschüttung, H die Höhe des Wasserspiegels über der obern Fläche der Schüttung, beides in Rheinländischen Zollen, und M die während einer Minute hindurchfliefsende Wassermenge und zwar in alten Preufsischen Lothen ausgedrückt. In diesen sämmtlichen Messungen war die Temperatur des Wassers nahe constant und schwankte nur zwischen 9,5 und 10,5 Graden Réaumur, sie konnte also gleich 10 Graden angenommen werden. Es wäre noch zu bemerken, dafs der Querschnitt des Filtrir-Cylinders in einer möglichst scharfen Messung gleich 6,88 Quadratzoll gefunden wurde.

	h	H	M
1)	1,15	2,12	5,95
2)	1,15	4,05	11,88
3)	1,15	4,63	12,10
4)	2,30	2,89	3,93
5)	2,30	3,96	6,16
6)	2,30	5,12	7,80
7)	3,46	4,12	3,93
8)	3,46	15,33	22,36

Aus der Vergleichung dieser Resultate mit einander ergiebt sich,

daſs die Wassermenge unter übrigens gleichen Umständen umgekehrt der Höhe der Sandschüttung oder h proportional ist, daſs sie aber bei gleichem h nicht mit der Druckhöhe $h + H$ in constantem Verhältniſs steht, von letzterer vielmehr eine gewisse Quantität abgezogen werden muſs. Die Beobachtungen schlieſsen sich also an einen Ausdruck an von der Form

$$h + H = x + Mh \,.\, z.$$

Nach der Methode der kleinsten Quadrate ergab sich

$$x = 1{,}53.$$

Die Capillar-Attraction hebt also sehr genau denselben Theil der ganzen Druckhöhe auf, welcher nach der directen Messung die Höhe bezeichnet, zu der das Wasser in der Sandschüttung ansteigt. Der wahrscheinlichste Werth der durch jeden Quadratzoll der Oberfläche des Filters in 1 Minute hindurchflieſsenden Wassermenge, und zwar in Cubikzollen ausgedrückt, ist

$$M = 0{,}66 \frac{h + H - 1{,}5}{h}$$

Vergleicht man dieses aus den vorstehend beschriebenen Beobachtungen hergeleitete Resultat unter Einführung der üblichen Höhe der Sandschüttung und des Wasserstandes darüber mit den Wassermengen, welche groſse Filtrir-Bassins liefern, wie Darcy diese zusammengestellt hat, so bemerkt man einen sehr groſsen Unterschied, und zwar stellt sich nach den letzteren die Ergiebigkeit ohne Vergleich viel geringer heraus. Zum Theil erklärt sich dieses dadurch, daſs ich nur filtrirtes Wasser durch den Sand flieſsen lieſs, also gar keine Versetzung der Zwischenräume stattfand. Ohne Zweifel haben darauf aber noch zwei andre Umstände wesentlichen Einfluſs, nämlich zunächst die sichere Bettung des Sandes und sodann auch seine vollständige Tränkung mit Wasser, also die Beseitigung der, vor dem Eintritt der Strömung, in den Zwischenräumen befindlichen Luft, welche stellenweise die Wirksamkeit des Filters vollständig verhindert, bis sie gewaltsam die darüber befindliche Sandlage durchbricht.

Auſserdem stellte ich einige Beobachtungen mit wärmerem Wasser an, dessen Temperatur 23,5 Grade R. betrug. Hierbei wurde die Ergiebigkeit viel gröſser, nämlich nahe im Verhältnisse von 3 : 2, woher also, wenn man von obigem Ausdrucke ausgeht,

die Erwärmung des Wassers um einen Grad eine Steigerung der Ergiebigkeit um nahe 4 Procent veranlafst.

§. 21.
Leitungsröhren von Holz, Stein, Blei und Asphalt.

Nachdem das Wasser angesammelt und nöthigen Falls auch gereinigt ist, so läfst man es in die Leitungsröhren treten, die es nach seinem Bestimmungsorte führen. Diese Röhren bestehn, wenn die Anlage weder eine grofse Ausdehnung, noch sonstige Wichtigkeit hat, aus Holz, mitunter aus Stein und zuweilen auch aus Blei. Sie sind jedoch im letzten Falle so kostbar, dafs man heut zu Tage nicht leicht einen langen Röhrenstrang daraus darstellt, doch wird zu kurzen Verbindungsröhren und schwachen Abzweigungsröhren das Blei noch vielfach benutzt, da seine Biegsamkeit eine grofse Bequemlichkeit bietet. Soll dagegen die Leitung einen gröfsern Ort mit Wasser versehn, und ist sie für alle Verhältnisse so wichtig geworden, dafs eine Unterbrechung nicht eintreten darf, so mufs ein Material gewählt werden, welches theils an sich dauerhafter ist, theils aber auch gestattet, alle Nebentheile der Leitung, wie Hähne, Ventile, Luftspunde und dergleichen mit genauem und sicherm Schlusse anzubringen. Dieses ist nach den bisherigen Erfahrungen allein beim Gufseisen der Fall, und da dasselbe bei der Vervollkommnung des Gusses auch in sehr geringer Wandstärke und sonach für mäfsige Preise dargestellt werden kann, so wird es gegenwärtig bei wichtigeren Anlagen dieser Art beinahe ausschliefslich benutzt. In neuester Zeit sind jedoch mehrfache Versuche gemacht worden, dafür Asphalt-Röhren einzuführen, die in Betreff der geringeren Kosten häufig empfohlen werden.

Bei sämmtlichen Röhrenleitungen kommt es nicht nur darauf an, dafs die einzelnen Stücke hinreichend fest sind, um dem stärksten Wasserdrucke, dem sie ausgesetzt sein können, zu widerstehn, und dafs sie gehörig schliefsend mit einander verbunden werden, sondern man mufs aufserdem auch dafür sorgen, dafs der Querschnitt an keiner Stelle weder durch eine Absetzung von Sand und

andern Stoffen, noch auch durch Luft ganz gesperrt oder stark verengt werde. Eine Leitung, welche abwechselnd steigt und fällt, wie Fig. 87 zeigt, ist beiden Uebelständen ausgesetzt. Wenn das Wasser in der mit dem Pfeile angedeuteten Richtung in die noch leere Leitung tritt, so wird es die Luft vor sich herschieben und dieselbe aus dem ansteigenden Theile entfernen. In dem Scheitelpunkte *A* wird es aber anfangs nur über den Boden fliefsen und sich weiter verbreiten und sogar an der tiefsten Stelle bei *B* den ganzen Querschnitt der Röhre füllen, ohne dafs die an der höchsten Stelle befindliche Luft in dem folgenden Theile der Leitung abwärts bis *B* geführt werden kann. Bei eintretender Hitze dehnt sich die eingeschlossene Luft stark aus, und hierdurch erklärt sich die Erscheinung, dafs manche Röhrenleitungen unerachtet einer gleichen Höhe im Speisebassin bei kalter Witterung mehr Wasser geben, als bei warmer. Es erfolgt indessen eine ähnliche und eben so nachtheilige Ansammlung der Luft, wenn die Röhre auch weniger geneigt ist, als nach dem gezeichneten Profile, und selbst in nahe horizontalen Strecken haften oft die Luftbläschen mit grofser Zähigkeit an der obern Wand der Röhre und verursachen ähnliche Verengungen. Diese Luft ist keineswegs allein diejenige, welche ursprünglich die Röhre füllte, sondern aus dem Wasser scheiden sich häufig Gase ab, zuweilen schöpft aber die Mündung der Röhrenleitung mit dem Wasser auch Luft. Man mufs dafür sorgen, dafs nicht nur beim ersten Eintreten des Wassers, sondern auch später die Luft an einzelnen Stellen entweichen kann. Am einfachsten wird dieses dadurch erreicht, dafs man auf die Scheitelpunkte senkrechte Röhren, sogenannte Luftröhren oder Luftspunde aufstellt, die immer offen bleiben. Damit sie aber kein Wasser ausgiefsen, so müssen sie bis über das Niveau des Speisebassins reichen. Dieses ist oft nicht leicht, und noch häufiger verbietet eine solche Einrichtung sich dadurch, dafs man sie an der Stelle, wo sie angebracht werden sollte, vor zufälligen und muthwilligen Beschädigungen nicht gehörig sichern kann. Von andern Vorkehrungen zu demselben Zwecke wird später die Rede sein.

Wenn erdige Theilchen im Wasser enthalten sind, so schlagen dieselben vorzugsweise an den tiefsten Stellen wie bei *B* nieder. Obwohl ein solcher Niederschlag auch nur langsam erfolgt, so kann er mit der Zeit doch nachtheilig werden, und man mufs daher für

Mittel sorgen, um einer zu grofsen Ausdehnung desselben vorzubeugen. Dieses geschieht entweder durch die Anbringung sogenannter Wechselhäuschen oder Schlammkasten, oder durch Ausgufsröhren. Jene sind kastenförmige Erweiterungen der Röhrenleitung, die an den Seiten und am Boden wasserdicht und mit den ein- und ausmündenden Röhren fest verbunden sind. Indem das Wasser in sie hineintritt, so durchströmt es sie mit geringerer Geschwindigkeit, und läfst daher die erdigen Theilchen fallen. Auf solche Art sammelt sich der Niederschlag, der sonst die Röhre zum Theil sperren würde, in den Kasten an, dieselben reichen aber so tief unter die Röhren herab, dafs der darin abgelagerte Schlamm nicht sobald die Wirksamkeit der Leitung beeinträchtigt. Die Reinigung des Kastens erfolgt, wenn die Leitung aufser Thätigkeit gesetzt und entleert ist durch Ausgraben, wobei der wasserdicht schliessende Deckel entfernt werden mufs. Die ungesunde Luft, die sich aus dem Schlamme entwickelt, setzt zuweilen dieser Reinigung grofse Hindernisse entgegen. Ein Haupterfordernifs ist es, dafs solche Anlagen nur da vorkommen, wo sie keinem starken Wasserdrucke ausgesetzt sind, weil sie sonst nicht leicht wasserdicht geschlossen werden können. Sie finden daher meist ihre Stelle an den höchsten Theilen der Leitung, und keineswegs an den niedrigsten, wo die Absetzung von Schlamm am meisten zu besorgen ist. Hierdurch beschränkt sich in hohem Grade ihre Anwendbarkeit, und sie gewähren nur da Vortheil, wo die Röhrenleitung horizontal oder sanft abfallend geführt ist. Bei neuern Wasserleitungen fehlen sie gewöhnlich ganz und statt ihrer sind Ausgufsröhren angebracht. Indem man nämlich den Röhrenstrang möglichst horizontal zu legen sucht, so wird bei undulirendem Terrain, wie dieses gewöhnlich vorkommt, auf der Höhe die Röhre versenkt, im Thale dagegen gehoben. Nichts desto weniger bildet sich dort ein höchster und hier ein tiefster Punkt, letzterer liegt aber über der Thalsohle, und von diesem Umstande hat man den Vortheil gezogen, hier einen Ausgufs anzubringen, der ohne Schwierigkeit das Röhrenwasser abführt. Sobald der Hahn geöffnet wird, bildet sich sogleich in den nächsten Theilen der Röhre eine starke Strömung, wodurch der Niederschlag, der gerade hier sich vorzugsweise absetzte, in Bewegung gebracht und fortgespült wird. Diese Ausgüsse und ebenso die Schlammkasten haben noch den Nutzen, dafs man bei vorkommenden Ver-

stopfungen durch sie leicht entdecken kann, in welchem Theile der Leitung die Sperrung zu suchen ist.

Endlich mufs bei Gelegenheit des Längenprofils noch bemerkt werden, dafs die Leitung in ihrer ganzen Ausdehnung die Höhe des Wasserspiegels im Speisebassin nicht wieder erreichen darf, vielmehr bei zunehmender Entfernung um so tiefer darunter bleiben mufs. Man kann zwar, indem man die Röhre in einen Heber verwandelt, selbst über gröfsere Höhen fortgehn, indessen darf an solcher Stelle kein Ausflufs angebracht werden, auch tritt dabei der Uebelstand ein, dafs dieser Theil der Röhre sich nicht mehr von selbst füllt, vielmehr beim jedesmaligen Anlassen durch eine besondere Pumpe vollgegossen werden mufs. Es giebt nur wenige Beispiele dafür, dafs man dessen ohnerachtet den Heber in Anwendung gebracht hat, und zwar ist es alsdann gewöhnlich nur geschehn, um über den Erddamm oder die Mauer, welche unmittelbar das Speisebassin einschliefst, das Wasser zu leiten, ohne dieselbe durch eine Oeffnung zu schwächen. In gröfseren Röhrenleitungen kommt aber selbst dieses nicht vor.

Der Horizont des Wasserspiegels im Speisebassin bezeichnet keineswegs die Grenze der Höhe, die man beliebig mit der Röhre erreichen darf. Die Ausflufsmündung mufs jedenfalls niedriger liegen, denn sonst würde alles Gefälle fehlen und keine Bewegung eintreten, aber auch in der Mitte der Leitung darf kein Punkt jener Höhe sich nähern, weil sonst die Röhre sich gar nicht, oder doch nur überaus langsam füllen könnte. Hierher gehören die Fälle, in welchen mehrere Tage und selbst Wochen vergehn, bevor die volle Wirksamkeit eintritt, wie dieses Bossut von einer Leitung bei Versailles anführt. Sonach müssen bei längeren Röhrenleitungen, die abwechselnd steigen und fallen, die aufeinander folgenden Scheitelpunkte unter derjenigen geneigten Linie bleiben, welche das nöthige Gefälle bezeichnet. Andrerseits können dagegen die tiefsten Punkte der Röhre sich zwar von dieser Grenze entfernen, man mufs indessen nicht aufser Acht lassen, dafs der Wasserdruck, der sich hier bildet, auch ein starkes Durchsickern der Fugen und bei hölzernen und steinernen Röhren auch eine schnelle Zerstörung derselben zur Folge zu haben pflegt. Sonach mufs man bei schwachen Röhren starke Senkungen vermeiden. Man verlegt die Röhren am vortheilhaftesten mit möglichst gleichmäfsigem Gefälle.

Zu **hölzernen Leitungsröhren** kann man fast jede **Holzart** benutzen, man wählt daher diejenige, die am wohlfeilsten zu beschaffen ist. Bedingung ist dabei vorzugsweise, dafs die einzelnen Röhrenstücke nicht gar zu kurz ausfallen, indem jede Zusammensetzung nicht nur Kosten verursacht, sondern auch eine schwache und undichte Stelle in der Leitung bildet. Aus diesem Grunde eignet sich vorzugsweise hierzu dasjenige Holz, welches recht gerade Stämme hat, also Kiefern und Lerchen. Sodann mufs die Röhre auch dauerhaft sein und Festigkeit genug besitzen, um dem Wasserdrucke zu widerstehn, und man giebt deshalb dem festen Holze und demjenigen, welches viele harzige Theile enthält, den Vorzug. Weiden- und Pappelholz wird wohl nie angewendet. Endlich darf die Röhre dem Wasser keinen Beigeschmack geben, und aus diesem Grunde vermeidet man gern die Benutzung von Eichenholz, doch giebt es davon viele Ausnahmen und in Frankreich scheint dasselbe sogar vorzugsweise gewählt zu werden. Im Allgemeinen möchte sonach aufser dem Kiefern- und Lerchen- noch das Ellernholz sich besonders empfehlen.

Die **Länge** der einzelnen Röhrenstücke beträgt gewöhnlich zwischen 12 und 18 Fufs. Ueber 20 Fufs darf sie nicht sein, weil alsdann das Bohren zu schwierig wird. Die **Wandstärke** hängt aufser der Festigkeit des Holzes auch von der lichten Weite des Bohrloches und von dem Wasserdrucke ab, wie dieses bei Gelegenheit der gufseisernen Röhren näher entwickelt werden wird. Man darf indessen die Wände einer hölzernen Röhre nicht auf die möglichst kleinsten Dimensionen beschränken, weil die Röhre vom durchfliessenden Wasser angegriffen wird und ihre Wandstärke sich nach und nach verringert. Gewöhnlich macht man die Wand dem Durchmesser des Bohrloches gleich, und da letzterer von der Wassermenge und dem Gefälle abhängt, so ergiebt sich leicht die nöthige Stärke der zu den Röhren zu benutzenden Stämme. Trifft es sich aber, dafs die Röhre sehr tief unter das Speisebassin verlegt wird und daher einem grofsen Wasserdrucke ausgesetzt ist, so genügt die eben gegebene Regel nicht mehr, und man mufs der Wand in diesem Falle eine gröfsere Stärke lassen. Dabei kommt es aber nicht allein auf den Wasserdruck an, den das Piezometer, während die Leitung in voller Thätigkeit ist, anzeigen würde, sondern man mufs auch den Fall berücksichtigen, dafs unterhalb dieser Stelle eine absichtliche

oder zufällige Sperrung eintreten kann, und dafs alsdann der volle Wasserdruck des Speisebassins wirksam wird. Wenn aber die Sperrung plötzlich erfolgt, so vermehrt der Stofs der bewegten Wassersäule noch sehr beträchtlich diesen Druck. Man pflegt hiernach die stärksten Röhren an die tiefsten Stellen zu verlegen, während man die schwächeren in den höheren Theilen der Leitung benutzen darf.

Indem die hölzernen Röhren nie trocken werden, so sollte man eine sehr lange Dauer voraussetzen, es treten indessen manche andere Ursachen ihrer Zerstörung ein und namentlich leiden sie häufig durch den Schwamm, doch kann man der Entstehung und starken Verbreitung desselben durch sorgfältige Vermeidung jeder Berührung mit Humus und andern Erdarten vorbeugen, welche die Fäulnifs befördern. Aufserdem ist, wie bereits angedeutet worden, die Wirkung des fliefsenden Wassers auf das Holz zu berücksichtigen. Es ist eine bekannte Erfahrung, dafs im Boden eines Wehrs, oder einer Freiarche, wenn derselbe auch fortwährend nafs geblieben ist, nach einer Reihe von Jahren die Zapfen nicht mehr die Zapfenlöcher füllen und alle Verbandstücke, soweit sie nicht ganz mit Erde umgeben waren, den genauen Schlufs verloren haben. Ebenso bemerkt man auch, wenn ein Pfahl ausgezogen wird, der etwa ein halbes Jahrhundert in einem Flusse steckte, dafs der Theil, der über das Bette vorragt, viel schwächer ist als der, welcher mit dem fliefsenden Wasser nicht in Berührung gekommen ist. Auf ähnliche Weise wird auch das Holz in den Röhren angegriffen und verzehrt. Bei den Wasserleitungen in Prag vergröfsert sich die Weite der Röhren in 6 Jahren um 3 bis 4 Zoll, und die Wandstärke vermindert sich dadurch so sehr, dafs die Röhren in diesen kurzen Zwischenzeiten schon erneut werden müssen.*) Namentlich zeigt sich diese Erscheinung am auffallendsten an solchen Stellen, wo die Röhren dem starken Drucke von 80 Fufs ausgesetzt sind, und wo wahrscheinlich auch das Durchdringen durch die Röhrenwand ihre Zerstörung noch befördert. Um diesem letzten Einflusse zu begegnen, verlegt man hölzerne Röhren gewöhnlich in ein Thonbette, wodurch zwar das erste Durchdringen der Wasser-Ader nicht verhindert werden, wohl aber das hindurchgedrungene Wasser nicht weiter fliefsen

*) v. Gerstner, Handbuch der Mechanik. Prag 1832. Bd. II. S. 232.

kann und sonach sich aufserhalb der Röhre bald ein Gegendruck bildet. Die hölzernen Röhren, welche früher das Wasser des New-River in London vertheilten, dauerten durchschnittlich 20 Jahre. Sie bestanden aus Ulmenholz, waren aber so häufig schadhaft, dafs man den Wasserverlust, den sie verursachten, im Durchschnitt auf 25 Procent schätzte. Dieses rührte zum Theil davon her, dafs man die undichten Stellen, die sich in der verminderten Ergiebigkeit zu erkennen gaben, nicht sogleich auffinden konnte und oft Wochen lang darnach suchen mufste.

Zur Verbindung hölzerner Röhren wählt man am häufigsten den Fig. 88*a* in der Seitenansicht und *b* im Durchschnitte dargestellten Zapfen. Die Röhre wird conisch zugeschärft und zwar so, dafs, wenn der Kegel ergänzt würde, seine Höhe mindestens zweimal so grofs, als der Durchmesser seiner Basis wäre. Einen festeren Schlufs erhält man aber, wenn man das Verhältnifs beider Gröfsen, wie $2\frac{1}{2}$ zu 1 annimmt. Um das Aufspalten der Röhre zu verhindern, welche die conische Vertiefung erhält, wird ein eiserner Ring, der $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ Zoll stark sein mufs, aufgetrieben, und zur gehörigen Dichtung der Fugen wird entweder Oelkitt auf den conischen Zapfen gestrichen, der jedoch auf dem nassen Holze meist nicht haftet, oder man umwindet diesen Zapfen mit getheerter Leinwand. Dieselbe Verbindung kann man auch, wie Fig. 89 zeigt, zu Abzweigungen benutzen, und zwar eben sowol, wenn dieselben unter einem rechten, als wenn sie unter einem spitzen Winkel abgehn.

Die conische Gestalt der Zapfen giebt häufig Veranlassung, dafs die Röhren, sobald sie quellen, sich auseinanderschieben, und zwar erfolgt dieses um so leichter, je stumpfer der Kegel ist. Man begegnet diesem Uebelstande zuweilen dadurch, dafs man durch cylindrische Zapfen die Röhren in einander greifen läfst, wie Fig. 90 im Durchschnitte zeigt. Die Stärke des Zapfens ist in diesem Falle gewöhnlich das arithmetische Mittel zwischen der Stärke und der lichten Weite der Röhre. Man schneidet den Zapfen so zu, dafs er willig in das Zapfenloch hineingeht, alsdann umwindet man ihn mit getheerter Leinwand und treibt ihn ein, sobald die Röhre später mit Wasser gefüllt wird, quillt das Holz, und der Schlufs wird dicht. Der Zapfen ist meist 3 bis 4 Zoll lang, und die Röhre, worin das Zapfenloch sich befindet, wird wieder durch einen eisernen Ring gegen das Aufspalten gesichert.

Die beste Art der Zusammensetzung hölzerner Röhren ist in Fig. 91 dargestellt. Man schneidet die Röhren an beiden Enden stumpf ab und verbindet je zwei derselben durch eine eiserne, auf beiden Enden zugeschärfte Büchse *A*. Damit diese indessen nicht etwa nur in eine Röhre eindringt, so ist sie in der Mitte mit einem vorstehenden Rande versehn. Man macht die Büchse häufig nur 3 Zoll lang, so dafs sie in jede Röhre nur etwas über einen Zoll eingreift, und giebt ihr auch wohl einen so kleinen Durchmesser, dafs sie nur wenige Zoll vom Umfange des Bohrloches absteht. Beides ist zur Darstellung einer sichern Verbindung nicht genügend, und wenn man einige Mehrkosten nicht scheuen darf, so läfst man die Büchse in jedes Röhrenstück 3, auch wohl 4 Zoll tief eingreifen, und giebt ihr einen solchen Durchmesser, dafs sie in die Mitte der Röhrenwand trifft. Ihre Stärke beträgt alsdann neben dem vorstehenden Rande ungefähr ¼ Zoll. Die Kosten für die Anschaffung solcher Büchsen sind freilich bedeutend, aber sie sind bei wiederholter Auswechselung der Röhren aufs Neue zu benutzen. Es ist vortheilhaft, die Büchse eben sowol im Innern, wie im Aeufsern, etwas conisch abzuschrägen, wie dieses Fig. 92 zeigt. Um die Büchse einzusetzen, stellt man sie concentrisch mit dem Bohrloche auf die Stirnfläche der einen Röhre und treibt sie mit einem Hammer bis nahe an den vorstehenden Rand ein, so dafs derselbe etwa noch einen halben Zoll vom Holze entfernt bleibt. Hierauf wird die Büchse herausgezogen, was mittelst einer Brechstange, die unter die Rippe fafst, nicht schwer ist, und man treibt sie in gleicher Weise mit ihrer andern Seite in das folgende Röhrenstück eben so weit ein. Endlich wird die erste Seite wieder in den bereits gebildeten Spalt eingestellt und mittelst starker Schläge, die man auf das Ende der zweiten Röhre führt, dringt die Büchse auf beiden Seiten bis zur Rippe ein. Es darf kaum erwähnt werden, dafs man sich hüten mufs, die Schneiden durch das Aufschlagen zu beschädigen, man benutzt daher hierbei einen eisernen Aufsetzer, der auf die Rippe pafst und die Schneide überdeckt. Bei dieser Methode ist eine Dichtung mit Hanf oder Leinwand entbehrlich, ebenso fehlen auch die eisernen Ringe, die sonst das Aufspalten der Röhren verhindern. Die Länge der ausgebohrten Röhren wird aber in diesem Falle vollständig benutzt, indem keine Zapfen angeschnitten werden.

Wenn diese Büchsen an einer Seite verlängert werden, so die-

nen sie auch zur Darstellung von Abzweigungen, die unter einem rechten Winkel seitwärts austreten. Zu diesem Zwecke muſs die Seitenöffnung in der Röhre hinreichend erweitert werden, so daſs man die Büchse eintreiben und mit Holzkeilen dichten kann, während sie auf der andern Seite in der beschriebenen Art in das Hirnholz der Zweigröhre eingreift. Am sichersten werden die Biegungen und Abzweigungen in hölzernen Röhrenleitungen dargestellt, wenn man guſseiserne Verbindungsstücke benutzt. Dieselben werden in die hölzernen Röhren eingeschoben und durch Holzkeile, die in Theer getränkt sind, gedichtet. Damit hierbei aber nicht vielleicht die Röhre spaltet, muſs sie eben so, als wenn eine hölzerne Röhre hineingeschoben würde, mit einem eisernen Ringe umgeben sein.

Zuweilen setzt man hölzerne Röhren aus einzelnen Stücken zusammen, um ihnen eine gröſsere Weite zu geben. So ist schon oben bei Gelegenheit der Artesischen Brunnen von der Zusammensetzung aus zwei Hälften die Rede gewesen, und wenn die Anzahl der Segmente noch gröſser wird, so ist ihre Construction übereinstimmend mit der eines Fasses, wobei die eisernen Zugbänder den Zusammenhang zwischen den einzelnen Theilen darstellen. Obwohl man dergleichen Röhren bei Wasserleitungen nicht anwendet, so muſs doch erwähnt werden, daſs früher auf diese Art die guſseisernen Röhren, welche das von der Maschine Chaillot in Paris gehobene Wasser unter sehr starkem Drucke nach den Reservoiren leiteten, mit Holz verkleidet waren, um das Durchsickern zu verhindern. Der hölzerne Mantel bestand aus 1¼ zölligen eichenen Stäben und starke Zugbänder verbanden diese.

Beim Verlegen der Röhren muſs man bis zu derjenigen Tiefe herabgehn, in der das Wasser vor dem Gefrieren und starker Erwärmung gesichert ist. Der Frost ist besonders nachtheilig, weil dadurch nicht nur die Leitung ganz unterbrochen, sondern auch die Röhren zersprengt werden. Wiewohl die Boden-Temperatur selbst in groſser Tiefe im Sommer nicht dieselbe, wie im Winter ist, so dringt in unserm Klima der Frost doch nur selten über 3 Fuſs in den Boden ein. In Städten werden die Röhrenstränge häufig noch aus einem andern Grunde sehr tief verlegt, man muſs sie nämlich vor den Erschütterungen des Fuhrwerks sichern, wodurch ihre Verbindungen sich lösen und undicht werden, sie selbst aber auch

Die beste Art der Zusammensetzung hölzerner Röhren ist in Fig. 91 dargestellt. Man schneidet die Röhren an beiden Enden stumpf ab und verbindet je zwei derselben durch eine eiserne, auf beiden Enden zugeschärfte Büchse *A*. Damit diese indessen nicht etwa nur in eine Röhre eindringt, so ist sie in der Mitte mit einem vorstehenden Rande versehn. Man macht die Büchse häufig nur 3 Zoll lang, so dafs sie in jede Röhre nur etwas über einen Zoll eingreift, und giebt ihr auch wohl einen so kleinen Durchmesser, dafs sie nur wenige Zoll vom Umfange des Bohrloches absteht. Beides ist zur Darstellung einer sichern Verbindung nicht genügend, und wenn man einige Mehrkosten nicht scheuen darf, so läfst man die Büchse in jedes Röhrenstück 3, auch wohl 4 Zoll tief eingreifen, und giebt ihr einen solchen Durchmesser, dafs sie in die Mitte der Röhrenwand trifft. Ihre Stärke beträgt alsdann neben dem vorstehenden Rande ungefähr $\frac{1}{4}$ Zoll. Die Kosten für die Anschaffung solcher Büchsen sind freilich bedeutend, aber sie sind bei wiederholter Auswechselung der Röhren aufs Neue zu benutzen. Es ist vortheilhaft, die Büchse eben sowol im Innern, wie im Aeufsern, etwas conisch abzuschrägen, wie dieses Fig. 92 zeigt. Um die Büchse einzusetzen, stellt man sie concentrisch mit dem Bohrloche auf die Stirnfläche der einen Röhre und treibt sie mit einem Hammer bis nahe an den vorstehenden Rand ein, so dafs derselbe etwa noch einen halben Zoll vom Holze entfernt bleibt. Hierauf wird die Büchse herausgezogen, was mittelst einer Brechstange, die unter die Rippe fafst, nicht schwer ist, und man treibt sie in gleicher Weise mit ihrer andern Seite in das folgende Röhrenstück eben so weit ein. Endlich wird die erste Seite wieder in den bereits gebildeten Spalt eingestellt und mittelst starker Schläge, die man auf das Ende der zweiten Röhre führt, dringt die Büchse auf beiden Seiten bis zur Rippe ein. Es darf kaum erwähnt werden, dafs man sich hüten mufs, die Schneiden durch das Aufschlagen zu beschädigen, man benutzt daher hierbei einen eisernen Aufsetzer, der auf die Rippe pafst und die Schneide überdeckt. Bei dieser Methode ist eine Dichtung mit Hanf oder Leinwand entbehrlich, ebenso fehlen auch die eisernen Ringe, die sonst das Aufspalten der Röhren verhindern. Die Länge der ausgebohrten Röhren wird aber in diesem Falle vollständig benutzt, indem keine Zapfen angeschnitten werden.

Wenn diese Büchsen an einer Seite verlängert werden, so die-

nen sie auch zur Darstellung von Abzweigungen, die unter einem rechten Winkel seitwärts austreten. Zu diesem Zwecke muſs die Seitenöffnung in der Röhre hinreichend erweitert werden, so daſs man die Büchse eintreiben und mit Holzkeilen dichten kann, während sie auf der andern Seite in der beschriebenen Art in das Hirnholz der Zweigröhre eingreift. Am sichersten werden die Biegungen und Abzweigungen in hölzernen Röhrenleitungen dargestellt, wenn man guſseiserne Verbindungsstücke benutzt. Dieselben werden in die hölzernen Röhren eingeschoben und durch Holzkeile, die in Theer getränkt sind, gedichtet. Damit hierbei aber nicht vielleicht die Röhre spaltet, muſs sie eben so, als wenn eine hölzerne Röhre hineingeschoben würde, mit einem eisernen Ringe umgeben sein.

Zuweilen setzt man hölzerne Röhren aus einzelnen Stücken zusammen, um ihnen eine gröſsere Weite zu geben. So ist schon oben bei Gelegenheit der Artesischen Brunnen von der Zusammensetzung aus zwei Hälften die Rede gewesen, und wenn die Anzahl der Segmente noch gröſser wird, so ist ihre Construction übereinstimmend mit der eines Fasses, wobei die eisernen Zugbänder den Zusammenhang zwischen den einzelnen Theilen darstellen. Obwohl man dergleichen Röhren bei Wasserleitungen nicht anwendet, so muſs doch erwähnt werden, daſs früher auf diese Art die guſseisernen Röhren, welche das von der Maschine Chaillot in Paris gehobene Wasser unter sehr starkem Drucke nach den Reservoiren leiteten, mit Holz verkleidet waren, um das Durchsickern zu verhindern. Der hölzerne Mantel bestand aus 1¼ zölligen eichenen Stäben und starke Zugbänder verbanden diese.

Beim Verlegen der Röhren muſs man bis zu derjenigen Tiefe herabgehn, in der das Wasser vor dem Gefrieren und starker Erwärmung gesichert ist. Der Frost ist besonders nachtheilig, weil dadurch nicht nur die Leitung ganz unterbrochen, sondern auch die Röhren zersprengt werden. Wiewohl die Boden-Temperatur selbst in groſser Tiefe im Sommer nicht dieselbe, wie im Winter ist, so dringt in unserm Klima der Frost doch nur selten über 3 Fuſs in den Boden ein. In Städten werden die Röhrenstränge häufig noch aus einem andern Grunde sehr tief verlegt, man muſs sie nämlich vor den Erschütterungen des Fuhrwerks sichern, wodurch ihre Verbindungen sich lösen und undicht werden, sie selbst aber auch

brechen könnten. Diese Vorsicht ist indessen bei hölzernen Röhrenleitungen weniger nöthig, als bei eisernen und steinernen.

Bei verschiedenen Wasserleitungen ist die Tiefe sehr verschieden gewählt. Die hölzernen Röhren, welche die Soole von dem Scheitel des Soldenköpfel bei Berchtesgaden nach Reichenhall führen, liegen des kalten Klimas unerachtet meist ganz unbedeckt zur Seite der Chaussee, hier verhindert indessen der starke Salzgehalt des Wassers das Einfrieren. Leitungen, welche Quellwasser aus dem Erdboden aufnehmen, braucht man wegen des Frostes nicht tief zu versenken, weil die Abkühlung nicht so schnell erfolgt. Wo aber das Wasser aus dem Speisebassin schon abgekühlt und vielleicht unter einer Eisdecke abfliefst, da mufs man jede fernere Erniedrigung der Temperatur verhindern, und deshalb einige Fufs tief unter die Oberfläche des Bodens herabgehn. In Paris legt man alle Röhren mindestens 1 Meter oder 3 Fufs 2 Zoll tief, in England wählt man ungefähr dieselbe Tiefe, doch geht man in Deutschland bei der Anlage gröfserer Leitungen gemeinhin noch vorsichtiger zu Werke, und versenkt die Röhren bis 5 Fufs tief.

Eine zweite Rücksicht, die man beim Verlegen der Röhren zu nehmen hat bezieht sich auf die Festigkeit des Bodens. Im Allgemeinen darf man diese immer voraussetzen, insofern keine neue Aufschüttung gemacht, sondern der Graben, worin die Röhre liegt, mit derselben Erde angefüllt wird, die schon früher hier lag und drückte. Das Gewicht der Röhre ist an sich unbedeutend und meist noch geringer, als das der Erde, deren Stelle sie einnimmt. Man hat also nur darauf zu achten, dafs bei einem nachgiebigen Boden nicht andere Aufträge oder sonstige starke Belastungen hinzukommen, durch welche der Röhrenstrang, wenn er darunter liegt, theilweise herabgedrückt und dadurch in seiner Verbindung gelöst werden könnte. Endlich mufs man jede Berührung der hölzernen Röhre mit animalischen oder vegetabilischen Stoffen sorgfältig vermeiden, weil solche vorzugsweise die Bildung des Schwammes befördern. Aus diesem Grunde darf auch keine fette Gartenerde zur Bedeckung genommen werden, sondern am besten eignet sich dazu Sand oder Thon, sowie auch die Verbindung beider, oder Lehm. Eine Ausnahme hiervon rechtfertigt sich nur, wenn der Röhrenstrang, wie dieses in moorigem Boden zuweilen geschieht, unter dem Grundwasser liegt. Der Thon hat übrigens vor dem Sande den Vorzug,

dafs er das Durchsickern des Wassers verhindert, woher er auch vorzugsweise benutzt wird. Zuweilen werden die Röhren vor dem Verlegen in der äufseren Oberfläche getheert, was jedoch wenig Nutzen hat, da man das Holz vorher nicht so stark austrocknen läfst, dafs der Theer eine feste Verbindung damit eingehn könnte. Andrerseits geschieht es auch, dafs man die Röhren von aufsen schwach bebrennt, wodurch zwar der Fäulnifs sehr kräftig entgegengewirkt, aber leicht der grofse Uebelstand herbeigeführt wird, dafs die Röhren stellenweise geschwächt werden.

Die hölzernen Röhren werden gewöhnlich ohne Untermauerung verlegt. Man hebt einen Graben in der Richtung aus, wo der Röhrenstrang liegen soll, und zwar in solcher Tiefe, dafs seine Sohle zugleich das Bette für den letztern bildet. Unter Umständen kann die Anbringung eines Thonschlages auf der Sohle nöthig werden, jedenfalls wird man den Graben nur so breit machen, dafs die Röhre darin Platz findet. Von grofser Wichtigkeit ist es, jede einzelne Röhrenstrecke, bevor sie wieder mit Erde verschüttet wird, in Hinsicht ihrer Wasserdichtigkeit zu prüfen. Zu diesem Zwecke wird in die äufsere Oeffnung der zuletzt verlegten Röhre ein hölzerner Pflock eingetrieben und der Zuflufs des Quells nach der Leitung geöffnet. Es bildet sich alsdann in der ganzen Leitung der volle Druck, welcher der Niveaudifferenz gegen das Speisebassin entspricht, und wenn dieser kein Ausspritzen oder Hervorquellen des Wassers aus den Fugen zwischen den Röhren oder durch die Röhrenwände selbst zur Folge hat, so kann man diesen Theil als gehörig wasserdicht ansehn und ihn verschütten.

Die willkührliche Zulassung und Absperrung des Wassers aus dem Sammelbassin nach der Röhrenleitung erfolgt gemeinhin durch die in Fig. 74 auf Taf. V dargestellte Vorrichtung. Man bringt dafür aber häufig eine Art von Kegelventil an, welches an einem Stiele herausgehoben und eingesetzt wird, um die Oeffnung in der Grundrinne oder im daraufgestellten Rinnstocke zu schliefsen.

Luftspunde dürfen in hölzernen Leitungen nicht fehlen. Da letztere viel roher zusammengesetzt sind als eiserne, so tritt für die Luftspunde noch der sehr wichtige Zweck ein, durch sie bei eintretenden Verstopfungen oder Lecken die schadhaften Stellen aufzufinden. Wo es geschehn kann, bringt man verticale Luftröhren in der Fig. 89 gezeichneten Verbindungsart an, und führt sie bis über

das Niveau des Speisebassins herauf. Hierzu findet sich indessen nicht leicht die Gelegenheit, man mufs also bei jedem Gebrauche des Luftspundes die darüber geschüttete Erde aufgraben. Man pflegt in diesem Falle gewöhnlich die Röhre von oben anzubohren, und das Bohrloch mit einem hölzernen Pflock zu schliefsen. Dieses geschieht etwa alle 10 Ruthen. Man bezeichnet diese Stellen, und wählt sie an Orten, wo die Röhre nicht tief liegt und wo man leicht hinzukommen kann. Soll die Röhrenleitung angelassen werden, so sind alle diese Oeffnungen frei, sobald aber das Wasser durch das Bohrloch ausfliefst, so wird der Pflock eingetrieben und der Graben an dieser Stelle mit Erde angefüllt.

Zeigt sich später eine merkliche Abnahme der zugeführten Wassermenge, während das Speisebassin gehörig gefüllt ist, so gräbt man die Stellen auf, wo die Spunde befindlich sind, und schlägt letztere nach und nach heraus. Aus der Stärke der austretenden Strahlen erkennt man schon, in welcher Strecke der Schaden zu suchen ist, und dieser Theil der Leitung mufs gewöhnlich ganz aufgegraben werden. Entdeckt man einen Leck, so läfst sich durch Eintreiben von Hanf oder Werg derselbe gemeinhin leicht schliefsen. Anders ist es aber, wenn eine Verstopfung in der Röhre vorgekommen ist, die sich oft aus Wurzelfasern bildet. In diesem Falle ist es besonders nützlich, wenn man recht viele Wechselhäuschen angebracht hat, durch welche man flexible Stangen einstofsen kann. Auch die Luftspunde lassen sich so einrichten, dafs sie zu diesem Zwecke brauchbar sind. Dieses geschieht, indem sie nicht in einem blofsen Bohrloche, sondern vielmehr in einer etwa 3 Fufs langen Oeffnung bestehn. Fig. 93*a* zeigt eine solche von oben und Fig. 93*b* im Querschnitt. Sie wird mit einem pyramidalisch zugeschnittenen Klotze geschlossen, der Fig. 93*c* perspectivisch dargestellt ist. Letzter darf natürlich nicht das Bohrloch der Röhre verengen, und mufs einige Zolle vor die äufsere Wand der Röhre vortreten, damit man ihn, so oft es nöthig ist, herausschlagen kann. Um ihn gehörig schliefsend zu machen, ist er von allen vier Seiten pyramidalisch geformt, und wird, bevor man ihn einsetzt, noch mit getheerter Leinwand umwunden.

Durch solche lange Oeffnungen läfst sich die Stange sowol nach der einen, wie nach der andern Seite einschieben. Sie besteht aus zähen Ruthen von Haselnufs, Esche und andern Holzarten, die lange

und gerade Triebe haben und dabei nicht spröde sind. Man bindet diese recht fest aneinander und stellt dadurch solche Längen dar, daſs man von einem Spunde bis zu dem nächsten reichen kann. Am Ende werden sie auch wohl mit einem Besen oder mit einer eigenthümlichen Vorrichtung, der sogenannten Röhrbirne, versehn. Dieses ist ein Stück Eisen, welches einer kreuzweise aufgespaltenen Birne gleicht. Die einzelnen Viertel hängen an der Stelle, wo bei der Birne der Stiel ist, durch Federn zusammen, und werden durch letztere auseinander gedrängt, während sie bei vorkommenden Unebenheiten sich zusammenlegen und durch engere Profile treiben lassen. Greift man hiermit das in der Röhre steckende Geflecht von Wurzeln an, so pflegt sich solches leicht von der Wand zu trennen, und man kann es bis zum nächsten Spunde schieben, durch welchen es herausgezogen wird. Wenn eine Anhäufung von Schlamm die Ursache der Verstopfung war, so sind aber besonders die bereits erwähnten Ausgüsse an den niedrigsten Stellen sehr wirksam, während die Schlammkasten schon die Versetzung der Röhre verhindern.

Die steinernen Röhren sind sehr verschieden. Sie werden entweder durch Ausbohrung eines natürlichen Steins, und zwar vorzugsweise des Sandsteins dargestellt, oder sie sind wie gewöhnliches Töpfergeschirr geformt und gebrannt und in diesem Falle gemeinhin von innen glasirt. Man bildet sie ferner aus einer porcellanartigen Masse, die beim Brennen zusammensintert, und daher keiner besonderen Glasur bedarf, und endlich werden sie zuweilen auch aus Mauerwerk oder auf andere Art unmittelbar da, wo sie liegen sollen, ausgeführt. Diese Röhren sind zum Theil sehr wohlfeil, auch dauerhaft, wenn sie vor äuſsern Beschädigungen gesichert werden. Sie geben dem Wasser am wenigsten einen fremdartigen Beigeschmack, lassen wegen der rauhen und festen Oberfläche die verschiedenen Kitte gut haften und sind daher bei sorgfältiger Verlegung auch in den Stöſsen gehörig dicht. Gekrümmte Röhrenstücke und Abzweigungen sind leicht darzustellen, und endlich gewähren sie den Vortheil, daſs ihre Durchführung durch Mauern wegen der Uebereinstimmung des Materials wenig Schwierigkeiten macht.

Diese Gründe werden häufig hervorgehoben, um den steinernen Röhren allgemeineren Eingang zu verschaffen, als sie bisher gefunden haben, es fehlt auch keineswegs an Beispielen, welche zeigen, daſs sie lange Zeit hindurch benutzt werden können, aber dagegen

sind auch viele Fälle bekannt geworden, in denen sie so wenig haltbar waren, dafs man sie bald verwerfen mufste, und besonders sind in dieser Beziehung die Erfahrungen wichtig, die man in England gemacht hat. Ihre grofse Zerbrechlichkeit gereicht ihnen ohne Zweifel sehr zum Vorwurf. Keine andere Art von Röhrenleitung verlangt eine solche Vorsicht in der Verlegung, damit kein Theil hohl liegt oder durch Erschütterungen berührt wird. Die Steifigkeit, welche sie durch die festen Kitte in den Stöfsen erhalten, ist eine neue Veranlassung ihres häufigen Brechens. In dieser Beziehung wirkt schon die Temperaturveränderung sehr nachtheilig auf sie ein, während es unmöglich ist, ihnen die genaue Form zu geben, welche sie haben müfsten, wenn man eine künstliche Compensation, wie bei eisernen Röhren, anbringen wollte. Ferner ist ihre Festigkeit nur sehr geringe und noch dazu sehr ungleichmäfsig, so dafs man sie einem gröfsern Wasserdrucke nie aussetzen darf, wenn sie nicht einen sehr kleinen Durchmesser haben. Auch ist ihre Wasserdichtigkeit nicht immer so vollständig, als man vermuthet. Endlich beeinträchtigt der Pflanzenwuchs die Wirksamkeit der steinernen Röhren weit mehr, als andre. Manche Bäume sind so begierig, ihre Wurzeln in diese Röhren zu senden, dafs man bemerkt hat, wie dieselben sich bis auf 30 Fufs in horizontaler Entfernung und bis 12 Fufs in der Tiefe direct nach der Leitung hinzogen, und sobald sie diese erreicht hatten, durchdrangen die feinen Fasern den Mörtel oder den Stein, und machten dabei die Röhren undicht, und verstopften sie. *) Auch die Vegetation im Innern ist bei keiner andern Leitung so reichlich und so störend, wie gerade bei den steinernen.

Hiernach scheint es, dafs die Vorzüge vollständig durch die Nachtheile aufgewogen werden, und wenn gleich unter manchen localen Verhältnissen die erstern überwiegen mögen, so ist doch zu bezweifeln, dafs diese Röhren eine allgemeine Verbreitung finden können.

In England hat man mittelst besonderer Maschinen mehrere Röhren von verschiedener Weite aus denselben Sandstein-Blöcken dargestellt, indem etwa 6 concentrische kreisförmige Schnitte gleichzeitig in jeden Block eingeschliffen wurden. Die Zusammensetzung solcher Röhren erfolgte in gleicher Weise, wie zuweilen bei eisernen

---

*) *Sganzin Resumé*, 4. Auflage. S. 161.

Röhren geschieht durch darüber geschobene breite eiserne Ringe, welche die Stöſse überdecken. Der Zwischenraum zwischen denselben und dem Ringe wird mit hydraulischem Mörtel oder einem andern Kitte ausgestrichen, oder behufs eines recht dichten Schlusses noch mit schmalen Holzkeilen gefüllt. Daſs man bei der Verlegung dieser Röhren, und noch mehr bei ihrer Beschüttung sehr vorsichtig zu Werke gehn muſs, ist bereits erwähnt worden. Gewöhnlich legt man sie durchweg auf ausgemauerte Fundamente, und zwar wird das Mauerwerk oben nach der Form der Röhre abgeglichen, damit der Druck sich auf eine groſse tragende Fläche vertheilt.

Dergleichen Röhren aus Sandstein und zum Theil auch aus andern Steinen, wie aus Marmor, hat man schon zur Zeit der ersten römischen Kaiser benutzt. Sie sind auch später mehrfach versucht worden, wenn gleich die groſsen Kosten ihrer Darstellung die Benutzung zu ausgedehnten Leitungen zu verhindern scheinen. Doch ist dieses in England geschehn. Im Anfange dieses Jahrhunderts bildete sich nämlich in Manchester eine Actiengesellschaft zur Versorgung der Stadt mit Wasser. Sie legte zuerst hölzerne Röhren, da diese jedoch viele Reparaturen erforderten, so muſsten sie durch andere ersetzt werden. Der Eigenthümer eines Steinbruches in der Nähe erbot sich zur Lieferung von Sandsteinröhren, von denen einige Proben günstig ausfielen. Die Gesellschaft entschloſs sich daher auf den Rath Rennie's, diese Röhren zu wählen. Beim Verlegen wurde jede mögliche Vorsicht beobachtet, als aber das Wasser hineingelassen war, so zeigte sich die Unangemessenheit der Wahl des Materials auf die augenscheinlichste Art. Groſse Theile der Stadt wurden sogleich inundirt, indem eine Menge Röhren unter dem Wasserdrucke zersprangen und aus den andern, die ganz geblieben waren, überall das Wasser durch die Röhrenwand durchquoll. Indem nun die Fonds der Gesellschaft vollständig erschöpft und alles Zutrauen zu ihr beim Publikum verschwunden war, so löste sie sich auf, und die neue Gesellschaft, die 1817 zusammentrat, legte guſseiserne Röhren, die noch in Wirksamkeit sind.*) In derselben Zeit, als in Manchester die steinernen Röhren gelegt wurden, sollte die Grand Junction-Canal-Wasserleitung in London ausgedehnt werden, und Rennie, der auch hier der Ingenieur der Gesellschaft war, veran-

*) *Matthews hydraulia. p.* 138 ff.

lafste letztere sogar, die gufseisernen Röhren, die nach seiner Meinung das Wasser verunreinigten, zu entfernen und dafür steinerne anzuwenden. Man folgte seinem Rathe und der Erfolg war derselbe, wie in Manchester, so dafs man sich beeilen mufste, wieder die gufseisernen Röhren zu benutzen. Die Kosten dieses Versuchs betrugen 11000 Pfund.

Die thönernen, inwendig glasirten Röhren würden sich vorzugsweise durch ihre Wohlfeilheit empfehlen, wenn ihre geringe Dauer nicht ihre Anwendbarkeit wesentlich beschränkte. Da ihnen die nöthige Festigkeit abgeht, um auch nur einem geringen Wasserdrucke zu widerstehn, so vermauert man sie gewöhnlich in der Art, dafs sie wirklich nur die innere Wand der Röhrenleitung bilden. Hierzu ist eine sichere Fundirung erforderlich, damit nirgend ein Setzen sich zeigt, die Kosten werden dadurch aber so bedeutend, dafs der Vorzug der Wohlfeilheit im Vergleiche zu den hölzernen und oft selbst zu den eisernen Röhren verschwindet. Die Verbindung ist in der Regel diese, dafs jede Röhre in das erweiterte Ende der nächsten eingreift und die Fuge mit Kitt gedichtet wird. Vor dem Trocknen lassen die Röhren sich biegen, man kann daher Krümmungen, sowie in besonderen Formen auch Stücke mit Abzweigungen darstellen. Es ist aber nicht ungewöhnlich, dafs man Luftspunde und Abzweigungen nicht in den thönernen Röhren, sondern in zwischengelegten hölzernen Röhren anbringt, in welche jene eingreifen.

Indem nach dieser Darstellung die gemauerte Umschliefsung der Röhre den Haupttheil bildet, so kann man die gebrannte Röhre selbst auch ganz fortlassen. Auf diese Art stellt man zuweilen nur kleine Canäle dar, die überwölbt, oder mit Deckplatten geschlossen sind, die aber immer durch das Wasser vollständig gefüllt werden und aus diesem Grunde als Röhren anzusehn sind. Fleuret hat sie auch ohne Anwendung von Mauersteinen allein aus einem schnell erhärtenden Mörtel gebildet. Er bediente sich dabei eines hölzernen Cylinders, dessen Durchmesser der beabsichtigten Röhrenweite entsprach; derselbe wurde mit Mörtel umgeben und später etwas herausgezogen, jedoch so, dafs er noch zum Theil in der bereits fertigen Röhre stecken blieb, woher die Fortsetzung sich immer genau anschlofs. Fig. 94 zeigt den Querschnitt einer solchen Röhre.

Die aus einer porcellanähnlichen Masse oder aus Steingut gebildeten Röhren sind unter den verschiedenen steinernen Röhren gewiſs die vorzüglichsten, insofern sie am festesten und für das Wasser am wenigsten durchdringlich sind. Bei einem Durchmesser von wenigen Zollen halten sie auch einen Wasserdruck bis 80 Fuſs aus, doch müssen sie aus einer möglichst gleichartigen Masse bestehn und so fest gebrannt sein, daſs sie am Stahle Funken geben. Ihre Wandstärke ist natürlich dem Drucke angemessen zu wählen, gemeinhin genügt es aber, derselben den vierten Theil der lichten Weite zu geben. Solche Röhren sind in Augsburg schon seit langer Zeit zu den Wasserleitungen benutzt, und ähnliche Beispiele kommen auch an andern Orten vor. Beim Verlegen dieser Röhren muſs man indessen sehr vorsichtig sein. Eine ununterbrochene Fundirung, auf der sie in einer Rinne liegen, ist meist nothwendig, auſserdem aber müssen sie auch vor Erschütterungen von dem darübergehenden Fuhrwerke gesichert und daher gehörig tief verlegt werden. Zu ihrer Zusammensetzung dient entweder ein mörtelähnlicher Cement, oder auch ein Kitt, der heiſs aufgebracht wird und beim Erkalten erhärtet, wie z. B. Schwefel, der hierbei vorzugsweise benutzt wird.

Die bleiernen Röhren waren vor einigen Jahrzehnden noch vielfach im Gebrauch. Sie empfehlen sich mit Recht durch manche schätzbare Eigenschaften: sie können einen starken Wasserdruck aushalten, ohne zu springen, sie sind sowol an sich sehr wasserdicht, als auch in den Stöſsen, wo sie zusammengelöthet werden. Man kann sie biegen und dadurch jede beliebige Krümmung darstellen, und endlich kommt es bei ihnen am wenigsten auf eine gesicherte Lage an, denn Stöſse und Erschütterungen schaden ihnen nichts, und eben so wenig leiden sie, wenn sie theilweise auf einem nachgebenden Boden liegen, wo sie tiefer als an andern Stellen einsinken. Nachtheilig ist zwar ihre starke Ausdehnung in der Wärme, die $2\frac{1}{2}$ Mal gröſser, als bei Guſseisen ist. Da sie indessen nicht leicht in ganz geraden Strängen liegen, so haben sie meist Gelegenheit, sich ohne Nachtheil zu verlängern oder zu verkürzen. In der neusten Zeit sind sie indessen durch die gegossenen eisernen Röhren verdrängt, die bei der vollkommneren Methode des Gieſsens viel billiger sind, und endlich hat man ihnen den Vorwurf gemacht, daſs sie das Wasser mit Bleikalk versetzen und es dadurch förmlich

vergiften. Sie werden heutiges Tages nur noch als kleinere Zweigröhren benutzt.

Die ältere Methode ihrer Darstellung war die, daſs man Bleiplatten zu cylindrischen Flächen scharf zusammenbog und die Ränder, ohne daſs sie sich überdeckten, zusammenlöthete. Man hat auch versucht, die Ränder durch bloſses Falzen und ohne Löthung mit einander zu verbinden. Hauptsächlich werden die Bleiröhren aber gegossen und später ist das Ziehn der gegossenen Röhren über einen Dorn und durch stählerne Löcher von abnehmender Weite üblich geworden. Die gegossenen Röhren sind gewöhnlich 12 Fuſs lang und haben eine Weite von 1 bis 6 Zoll. Ihre Wandstärke beträgt nach Génieys bei einer lichten Weite

von 1 Zoll . . . $2\frac{1}{2}$ Linien
- 2 Zoll . . . $3\frac{1}{4}$ Linien
- 3 Zoll . . . 4 Linien
- 4 Zoll . . . $4\frac{1}{3}$ Linien
- 6 Zoll . . . $5\frac{2}{3}$ Linien

Bei gröſseren Weiten werden sie auch gegenwärtig nicht mehr gegossen, sondern aus Platten geformt und gelöthet. Man löthet auch ebene Ränder, also Flanschen daran mittelst deren sie, wie bei eisernen Röhren geschieht, durch Schraubenbolzen verbunden werden. Dabei ist es aber nöthig, eiserne Ringe, welche die Bolzenlöcher enthalten, zuvor auf die Röhren aufzuziehn, da ohne dieselben der nöthige Druck nicht auf den ganzen Umfang gleichmäſsig vertheilt werden kann. Engere Röhren löthet man dagegen zusammen, indem die Ränder stumpf gegeneinander gebracht, aber nicht ineinander geschoben werden. Indem man bei den Bleiröhren überall Oeffnungen einschneiden und andere Röhren dieser Art wieder anlöthen kann, so sind Abzweigungen hier besonders leicht anzubringen. Wie man sie mit guſseisernen Röhren verbindet, soll bei Gelegenheit der Beschreibung der letzteren mitgetheilt werden, dieses ist aber dieselbe Art, wie sie auch mit hölzernen Röhren verbunden werden.

Seit dem Jahre 1840 werden Bleiröhren noch in andrer Weise und zwar in der höchsten Regelmäſsigkeit und in beliebigen Längen fabricirt, indem man das geschmolzene Blei durch eine eiserne cylindrische Röhre abflieſsen läſst, in der sich ein massiver cylindrischer Dorn befindet. Das Blei tritt also schon als Röhre von bestimmter Weite und Wandstärke aus, und es ist nur dafür zu sorgen,

dafs es zwischen der eisernen Röhre und dem Dorne schon erstarrt, um später die Form nicht zu verändern. Man kann in dieser Weise Röhren bis von nahe 4 Zoll Weite darstellen.

Um eine Bleiröhre zu prüfen, ob sie beim Gusse oder beim Ziehn oder Walzen überall die nöthige Wandstärke erhalten hat und ob die Fugen wasserdicht sind, schliefst man sie an einem Ende mit einem hölzernen Pfropfen, giefst sodann Wasser hinein und steckt in das offene Ende einen starken Stock, der unten mit einer Art Kolben versehn ist. Kann man auf letztern mit einem Hammer aufschlagen, ohne dafs Wassertropfen aus der Röhre ausspritzen, oder dieselbe irgendwo Veränderungen zeigt, so hat sie die erforderliche Stärke und Wasserdichtigkeit.

Jardine in Edinburg beobachtete, dafs eine Bleiröhre von 1½ Zoll Weite und $\frac{1}{8}$ Zoll Wandstärke noch einem Wasserdrucke von 1000 Fufs widerstand, dafs sie aber aufrifs, sobald der Druck auf 1200 Fufs sich vermehrte. Eine andere Röhre von derselben Wandstärke, die 2 Zoll weit war, hielt nur den Druck von 860 Fufs mit Sicherheit aus und brach bei 1000 Fufs.*) Indem die absolute Festigkeit des Bleies nur etwa dem neunten Theile der des Gufseisens gleich ist, der Preis dafür vergleichungsweise zum letzteren sich aber nahe auf das Dreifache stellt, so rechtfertigt es sich gewifs, dafs man schon der Kosten wegen allgemein das Gufseisen vorzieht und das Blei nur anwendet, wenn die Röhre nicht sicher verlegt werden kann und ein späteres Biegen derselben in Aussicht genommen werden mufs. Tritt dieses ein, so verhindert die Zähigkeit des Bleies den Bruch, und selbst unter sehr starkem Wasserdruck zerspringt sie nicht, wie etwa das gewalzte Eisen, vielmehr schwillt sie zunächst an der schwächsten Stelle auf. Es bildet sich hier eine förmliche Blase, und nur wenn die Wand derselben sich soweit verdünnt hat, dafs eine weitere Ausdehnung nicht mehr erfolgen kann, bricht sie auf, wobei die Ränder zurückgebogen werden, und der ganze Inhalt der Röhre schnell entweicht. So sah ich 1822 eine schadhafte Röhre in einer Strafse in Paris aufnehmen, worin auf etwa 6 Zoll Länge eine 2 Zoll weite Spalte sich gebildet hatte.

In neuerer Zeit sind auch Asphaltröhren vielfach versucht und angewendet worden. Dieselben werden gewöhnlich aus Papier

*) *Navier, résumé des leçons. Vol. I.*

gefertigt, welches durch geschmolzenen Asphalt gezogen ist. Dieses Papier bereitet man aus altem Tauwerk der Marine, und zwar wird es nicht geschöpft, sondern ohne Ende dargestellt. Nachdem es durch den Asphalt-Behälter gegangen, windet man es um einen Cylinder, dessen Durchmesser mit der beabsichtigten lichten Weite der Röhre übereinstimmt. Dieser Cylinder wird von der Maschine gedreht und auf ihm ruht ein zweiter Cylinder, der das Papier gleichmäſsig andrückt. Hat man durch mehrfache Umdrehungen die beabsichtigte Wandstärke erreicht, so schneidet man das Papier ab, und zieht den Cylinder, der als Kern diente, aus der so geformten Röhre. Letztere wird noch im Innern mit einem wasserdichten Firniſs, im Aeuſsern dagegen mit einem, mit Kies vermischten Asphalt-Lack überzogen und ist alsdann zum Gebrauche fertig.

Die Asphaltröhren-Fabrik in Hamburg liefert Röhren von 7 Fuſs Länge und 2 bis 24 Zoll lichter Weite für Preise, die nur die Hälfte der guſseisernen Röhren betragen sollen.

Was die Verbindung dieser Röhren unter sich oder mit guſseisernen Röhren betrifft, so wird besonders der Patent-Verschluſs als vollkommen dicht und zugleich als etwas flexibel gerühmt. Derselbe besteht im Wesentlichen aus einer guſseisernen oder auch aus einer Asphaltröhren-Muffe, die über den Stoſs gezogen wird, sowie aus zwei mit Flanchen versehenen guſseisernen Ringen, die an beiden Enden der ersten liegen, jedoch an den gegenüberstehenden Seiten hohle Kegelflächen bilden. Diese Kegelflächen lehnen sich nicht unmittelbar an die Muffe, sondern es befindet sich davor auf jeder Seite noch ein Kautschuck-Ring, dessen Querschnitt ein abgestumpftes gleichschenkliches Dreieck bildet, und der mit seiner Basis auf der Röhre ruht. Sobald die eisernen Ringe durch Schraubenbolzen zusammengepreſst werden, so drücken sie die Kautschuckringe sehr fest gegen die Röhre und stellen dadurch den wasserdichten Verschluſs dar.

Wenn diese Röhren aber keinem, oder nur einem geringen Drucke ausgesetzt sind, so genügt es, die beiden Enden zu erhitzen und auf einander zu drücken, während darüber ein Leinenband, das wieder in Asphalt getaucht war, um den Stoſs gewunden wird.

Die mit diesen Röhren angestellten Versuche haben in der That sehr günstige Resultate ergeben. So fanden Karmarsch und Rühlmann, daſs eine aus mehreren Stücken zusammengesetzte Röhre von

4 Zoll lichter Weite und ¼ Zoll Wandstärke einem Druck von vier und zwanzig Atmosphären widerstand ohne undicht zu werden, noch sonst irgend eine Beschädigung zu zeigen. Auch unter hohen Erdschüttungen sollen die Röhren nicht leiden, noch auch zusammengedrückt werden. Mehrfach sind sie bereits angewendet worden, und nach den frühesten Versuchen haben sie sich bereits seit zehn Jahren gut gehalten. Besonders rühmt man, dafs sie beim Gefrieren des Wassers nicht springen, und dafs sie demselben, auch wenn es lange darin gestanden hat, keinen Beigeschmack geben, noch auch es sonst in irgend einer Weise verunreinigen. Jedenfalls sind sie der Beachtung werth, obwohl vielfach bezweifelt wird, ob sie den seit Jahrhunderten bewährten gufseisernen Röhren gleichgestellt werden dürfen.

Wesentlich verschieden sind die Asphaltröhren, die in neuerer Zeit vielfach in Frankreich benutzt werden, und die aus Eisenblechen bestehn und von innen, wie von aufsen mit Asphalt überzogen werden. Darcy *) theilt verschiedene Notizen über ihre Fabrication, so wie über ihre Verwendung und die dabei gemachten Erfahrungen mit. Letztere sind sehr befriedigend. Hier wäre nur zu bemerken, dafs das Eisenblech, welches vorher verzinnt, oder vielmehr durch Eintauchen in eine Metallmischung von Blei und etwas Zinn mit einer dünnen Schicht derselben überzogen war, gebogen und durch Verniethung der Fuge zur Röhre verbunden wird. Die Wasserdichtigkeit wird durch den Asphaltüberzug dargestellt, der sowol von aufsen, wie von innen aufgebracht wird. Letzterer gewährt aber noch den Vortheil, dafs er das Metall vollständig überdeckt und sonach seine Oxydation verhindert. Darcy bemerkt, dafs diese Röhren bedeutend wohlfeiler, als gufseiserne sind, dafs aber der Unterschied der Kosten bei gröfseren Weiten nur geringe ist.

§. 22.
Gufseiserne Leitungsröhren.

Bei gufseisernen Röhren lassen sich alle diejenigen Vorkehrungen in Anwendung bringen, welche eine zweckmäfsige Vertheilung des

*) *Les fontaines publiques de Dijon. pag.* 632.

Wassers und eine ununterbrochene Wirksamkeit der Leitung bezwecken. Ein grofser Vorzug dieser Röhren liegt aber noch in ihrer Dauer. In England giebt es Röhren, die 100 Jahre hindurch das Wasser geleitet haben, ohne dafs eine Abnutzung daran bemerkt wäre. Ferner ist ihre Stärke und Wasserdichtigkeit so grofs, dafs man ihnen selbst bei einem Wasserdrucke von 100 Fufs nur diejenige Wandstärke geben darf, die schon wegen des gleichmäfsigen Gusses erforderlich ist. Mittelst der hydraulischen Presse können sie leicht und sicher geprüft werden. Die einzelnen Röhrenstücke lassen sich dauerhaft und wasserdicht verbinden, und man hat dabei noch die Wahl, entweder eine ganz steife Verbindungsart zu benutzen, oder in den Stöfsen, unbeschadet der Waserdichtigkeit, eine gewisse Biegsamkeit und Dehnbarkeit darzustellen, so dafs der ganze Strang bei Temperatur-Veränderungen sich verlängern und verkürzen, und bei zufälligem Setzen des Untergrundes an einzelnen Stellen sich auch biegen kann, ohne die Wirksamkeit der Leitung zu beeinträchtigen. Andrerseits kann man dabei aber auch die Vorrichtung treffen, dafs eine Röhre mittelst einer Stopfbüchse sich in eine andre schiebt, oder durch ein Gelenk mit derselben verbunden ist, so dafs Verkürzungen und Biegungen in ausgedehntem Maafse möglich sind.

Die gufseisernen Röhren sind bei der geringen Wandstärke, die man ihnen heutiges Tages giebt, so wenig kostbar, dafs sie mit Rücksicht auf die Unterhaltung in den meisten Fällen andern Leitungen vorzuziehn sind, soweit letztere schon durch längere Erfahrungen versucht wurden. Das Wasser, welches sie leiten, wird auch nicht verdorben, und am wenigsten in der Art, dafs es der Gesundheit nachtheilig würde. Der gröfste Uebelstand ist, dafs das Gufseisen oxydirt, und in manchen Fällen dieses Oxyd sich in grofsen Massen absetzt. Man hat indessen diesen Fall nur selten, und wie es scheint, nur einmal bemerkt, auch ist die ganze Wahrnehmung sehr zweifelhaft, woher die Besorgnifs, dafs bei einer neuen Anlage derselbe Uebelstand sich wiederholen möchte, nicht gerechtfertigt ist.

Um die nöthige Wandstärke der gufseisernen Röhren zu bestimmen, mufs man aufser der absoluten Festigkeit des Gufseisens auch den innern Durchmesser der Röhre und die Druckhöhe des Wassers kennen. Es sei f die absolute Festigkeit, oder diejenige Anzahl von Pfunden, welche ein gufseiserner Stab von 1 Quadratzoll Querschnitt mit Sicherheit tragen kann, ohne zu zerreifsen, d

der Durchmesser oder die lichte Weite der Röhre, e ihre Wandstärke, Beides in Zollen ausgedrückt, und h bezeichne die Druckhöhe des Wassers über der Achse der Röhre und zwar in Fufsen. Die Röhre kann brechen, indem der Druck in jedem einzelnen ringförmigen Theile derselben gegen die betreffende Wand gröfser wird, als die Festigkeit der letzteren. Es ist aber auch denkbar, dafs die Wand nicht parallel, sondern normal gegen die Röhren-Achse zerrissen wird, also ein Theil der Röhre sich von dem vorhergehenden löst. Der letzte Fall ist weniger wahrscheinlich, als der erste, weil die Befestigungsart der Röhren ihn gemeinhin schon verhindert, da er aber doch zuweilen eintreten kann, so ist es nöthig, ihn auch in Betrachtung zu ziehn. Ich mache mit ihm den Anfang und untersuche also zunächst, wie grofs e sein mufs, damit die Röhre nicht transversal bricht. Indem 1 Cubikfufs Wasser 61,736 Pfund wiegt, so ist der Druck auf jeden Quadratzoll Oberfläche der Röhrenwand gleich $0,4287 \,.\, h$ also auf den ganzen Querschnitt der Röhren-Oeffnung

$$= 0,1072 \,.\, hd^2 \pi$$

Der Querschnitt der Röhrenwand ist aber

$$= (e^2 + ed)\,\pi$$

und der Druck, dem derselbe mit Sicherheit widerstehn kann

$$= (e^2 + ed)\,\pi f$$

Man hat also

$$0,1072 \,.\, hd^2 = (e^2 + ed) f$$

woraus sich ergiebt

$$e = -\tfrac{1}{2} d + \tfrac{1}{2} d \sqrt{\left(1 + 0,4287 \frac{h}{f}\right)}$$

oder mit Vernachlässigung der höheren Potenzen des sehr kleinen Buches $\frac{h}{f}$

$$e = 0,1072 \frac{h}{f} d - 0,0115 \frac{h^2}{f^2} d.$$

Damit die Röhre nicht der Länge nach brechen kann, darf in jedem ringförmigen Theile, dessen Breite 1 Zoll sei, der Druck auf ein einzelnes Stück desselben nicht gröfser werden, als die Cohäsion der Wand, und da hier an ein Umbiegen, oder an den Bruch in einer einzelnen Stelle nicht gedacht werden kann, da das Gufseisen nicht biegsam ist, und überdies ein gleichmäfsiger Gufs vorausgesetzt

wird, so mufs der Ring auf zwei Stellen brechen. Der Wasserdruck, der dieses bewirkt, ist proportional der Sehne des abgebrochenen Stückes vom Ringe, er wird also ein Maximum, sobald der Ring diametral zerbricht, auch möchte das Herausdrücken eines andern Segmentes aufserdem noch eine neue Kraft erfordern. Sonach mufs e so grofs sein, dafs es in jedem einzelnen Ringe den diametralen Bruch verhindert. Die Cohäsion in beiden Bruchstellen beträgt

$$= 2ef$$

und der Wasserdruck, dem sie widerstehn soll, ist gleich

$$0{,}4287 \, . \, hd$$

daher mufs

$$e = 0{,}2144 \frac{h}{f} d$$

oder mehr als doppelt so grofs sein, wie im ersten Falle. Wenn sonach die Röhre so stark ist, dafs der Longitudinalbruch nicht erfolgen kann, so ist dadurch auch Sicherheit gegen den Transversalbruch erreicht.

In Bezug auf den Longitudinalbruch ist noch zu bemerken, dafs man hierbei zuweilen auch die Elasticität in Betracht gezogen, und über die dadurch herbeigeführten Aenderungen der Röhre gewisse Voraussetzungen gemacht hat, welche eine geringe Modification des Resultates veranlassen. Man bedarf dieser Voraussetzungen und Modificationen aber nicht, wenn man für f denjenigen Werth wählt, der noch keine merkliche Ausdehnung des Materials hervorbringt, und überdies ist eine grofse Schärfe der Rechnung auch zwecklos, da die Constante f wegen der Verschiedenartigkeit des Materials doch niemals genau bekannt ist.

Die geringste Wandstärke, die man im Gusse darstellen kann, ist etwa ein Viertel Zoll, und mit dieser würde eine Röhre von 6 Zoll Weite einem Wasserdrucke von 2900 Fufs, von 12 Zoll Weite aber noch einem Drucke von 1450 Fufs Widerstand leisten, wenn f zu 16000 angenommen wird. Die Erfahrung zeigt jedoch, dafs die Röhren diese Festigkeit wirklich nicht besitzen, weil der Gufs nicht überall rein, noch auch gleichmäfsig genug ausfällt. Dazu kommt noch, dafs eine zufällige Schwächung durch Rost oder in andrer Art leicht erfolgen kann, und dafs nicht der todte Druck des Wassers allein die Ursache des Bruches der Röhren ist, sondern in viel höherem Grade der Stofs der bewegten Wassersäule beim Schliefsen

eines Ventiles, wodurch ein Effect ähnlich dem des Stofshebers hervorgebracht wird. Bei der mehrfach erwähnten Anlage zu Toulouse nahm d'Aubuisson die geringste Wandstärke zu 10 Millimeter oder 4,6 Linien Rheinländisch an, und dieselbe behielt er bis zur Röhrenweite von 4,5 Zoll bei. Betrug die lichte Weite indessen mehr, so setzte er die Wandstärke gleich drei Hunderttheilen der lichten Weite + 7 Millimeter ($3\frac{1}{4}$ Linien). Er erwähnt dabei, dafs er im Allgemeinen der Regel gefolgt sei, die Wandstärke im metrischen Maafse so anzunehmen, dafs

$$e = 0{,}01 + 0{,}015 \,.\, d$$

also im Rheinländischen Zollmaafse

$$e = 0{,}38 + 0{,}015 \,.\, d$$

Dagegen giebt Th. Wicksteed *) an, dafs die Röhren, die er in London verlegen liefs

bei 18 Zoll Weite $\frac{3}{4}$ Zoll stark
- 5 - - $\frac{1}{2}$ - -
- 3 - - $\frac{3}{8}$ - -

gewesen wären. Leitet man hieraus eine ähnliche Formel ab, indem man die wahrscheinlichsten Werthe der Constanten aufsucht, so findet man nach der Reduction auf Rheinl. Zollmaafs

$$e = 0{,}41 + 0{,}013 \,.\, d$$

Bei Röhren von mäfsiger Weite pflegt man indessen noch schwächere Wandstärken zu wählen, was auch zulässig ist, sobald man erwarten kann, dafs der Gufs mit Sorgfalt und mit Verwendung von gutem Material ausgeführt ist.

Darcy berücksichtigt den auffallenden Unterschied der Festigkeit zwischen den horizontal und vertikal gegossenen Röhren, und entscheidet sich unter Zugrundelegung eines Druckes von 10 Atmosphären, für die durch nachstehende Ausdrücke bezeichneten Wandstärken, die ebenso, wie die Weiten der Röhren auf Rheinländisches Zollmaafs übertragen sind. Für horizontal gegossne Röhren

$$e = 0{,}38 + 0{,}020 \,.\, d$$

und für vertikal gegossene

$$e = 0{,}31 + 0{,}016 \,.\, d.$$

In früherer Zeit war man nicht im Stande schwächere Wandstärken, als von 1 Zoll, darzustellen, auch glaubte man die Länge jeder

*) *Civil Engineer and Architects Journal* 1838. *p.* 242.

einzelnen Röhre auf 3 Fuſs beschränken zu müssen. Als man jedoch anfing, die Röhren ohne Rücksicht auf die übermäſsige Wandstärke nur nach den Längen zu verdingen, und allein die Innehaltung der bestimmten Weite, sowie die Widerstandsfähigkeit gegen einen gewissen Druck forderte, so wurden die Hüttenbesitzer in ihrem eigenen Interesse dahin geführt, einen feinen und dabei fehlerfreien Guſs darzustellen. Indem aber die Concurrenz bald den Preis in demselben Maaſse herabdrückte, wie das Gewicht der Röhren vermindert war, so hatten die Anlagekosten für guſseiserne Röhrenleitungen sich bald auf die Hälfte und den dritten Theil des früheren Betrages vermindert, wozu noch kam, daſs die Hüttenbesitzer sich auch bemühen muſsten, die einzelnen Röhrenstücke recht lang zu machen, denn die Ränder und sonstigen Vorrichtungen zur Verbindung wurden nicht besonders bezahlt. Die Röhren hatten hierdurch aber keineswegs an Güte verloren, vielmehr durch die Einführung des Verfahrens, daſs jedes einzelne Stück mit der hydraulischen Presse geprüft wurde, wesentlich gewonnen.

Wenn die Röhren nach der früheren Art horizontal oder liegend gegossen werden, so muſs das glühende Eisen in der schmalen Spalte, welche der Stärke der Röhrenwand entspricht, sich weit seitwärts verbreiten, wobei es sich leicht abkühlt, und dadurch verhindert wird, eine gleichmäſsige und dichte Masse zu bilden. Dazu kommt noch, daſs es in diesem Falle, wenn es auch dünnflüssig eingedrungen ist, keinem starken Drucke ausgesetzt werden kann. Auſserdem geschieht es nicht selten, daſs bei gröſseren Längen auch der Kern durchbiegt, den man, um dieses zu vermeiden, durch Bolzen stützt. Dieselben verbinden sich zwar sehr fest mit dem Guſseisen, doch bilden sich daneben auch leicht undichte Stellen. Ihre vortretenden Enden werden später sowol auf der innern, wie der äuſsern Seite der Wand abgeschnitten.

Beim vertikalen Guſse verschwinden die erwähnten Uebelstände. Mit demselben Krahne werden centrisch übereinander die drei Formkasten und darauf in diese der Kern versenkt, der im Boden des untern Formkastens schon sein richtiges Lager findet und oben genau eingerichtet werden kann. Das Eisen flieſst hier senkrecht herab und zwar für den untern Theil unter starkem Drucke. Augenscheinlich werden hierdurch viele Fehlerquellen umgangen, und man darf bei diesen Fabrikaten eine gröſsere Vollkommenheit voraussetzen,

als bei den nach der ersten Art dargestellten. Es wäre nur noch zu bemerken, dafs die Röhren gewöhnlich 9 Fufs lang sind, und dafs die flachen Verstärkungen, die sie gemeinhin in Abständen von 3 Fufs haben, nur die unvermeidlichen Unregelmäfsigkeiten an den Stellen verdecken sollen, wo zwei Formkasten sich berühren.

Nachdem die Röhren aus den Formen genommen und gereinigt sind, pflegt man die untern Enden noch mit dem Hartmeifsel zu ebnen, damit hier nicht etwa Unebenheiten bleiben, die bei der Zusammensetzung grofse Oeffnungen bilden, durch welche das Tauwerk, das zum Dichten gebraucht wird, in die Röhre dringen könnte.

Bei Abnahme der Röhren verwirft man

1) alle, welche Risse, Blasen und überhaupt einen unreinen Gufs zeigen,
2) die an dem einen oder dem andern Ende eine sehr ungleiche Wandstärke zu erkennen geben. Nach Génieys darf man nur einen Spielraum von etwa 1 Linie gestatten.
3) diejenigen, an welchen man nicht einen kreisförmigen, sondern einen elliptischen Querschnitt, entweder in der innern oder der äufsern Oberfläche bemerkt, und endlich
4) alle Röhrenstücke, welche bei der Probe mit der hydraulischen Presse entweder springen, oder das Wasser in feinen Strahlen oder auch nur durch merkliches Ausschwitzen entweichen lassen.

Wenn gutes Eisen angewendet und der Gufs mit der gehörigen Vorsicht in richtig aufgestellten Formen ausgeführt ist, auch sonst keine Zufälligkeiten dabei eingetreten sind, so ist die Festigkeit der Röhre bei der angegebenen Wandstärke so grofs, dafs der Druck einer Wassersäule von mehreren hundert Fufs Höhe keinen Bruch herbeiführen kann. Der Zweck der Probe ist daher nur die Ermittelung der zufällig dabei vorgekommenen gröfseren Unregelmäfsigkeiten und der besonders schwachen Stellen. D'Aubuisson, der bei der Wasserleitung zu Toulouse nur eine Druckprobe von 30 Meter anwendete, giebt den Rath, denselben auf 100 Meter oder 10 Atmosphären zu verstärken. Dasselbe empfiehlt Génieys. Die Röhren der New-River Wasserleitung wurden wirklich auf 300 Fufs geprüft und diejenigen, welche Jardine in Edinburg verlegen liefs, die einen Druck von mehr als 300 Fufs auszuhalten haben, sogar auf 800 Fufs. Die Probe läfst sich am bequemsten auf der Hütte selbst anstellen

und dieses wird von den Lieferanten auch immer gewünscht, dabei wird aber von allen Beschädigungen abgesehn, die beim Transport und namentlich beim Auf- und Abladen vorkommen.

Die Prüfung erfolgt mittelst der hydraulischen Presse. Dieselbe bedarf hier keiner Beschreibung, wohl aber ist der Apparat, worin die Röhren eingespannt werden, näher zu bezeichnen. Fig. 95*a* zeigt ihn in der Ansicht von der Seite und Fig. 95*b* von oben. Auf einem hölzernen Rahmen, der zugleich die hydraulische Presse trägt, ist eine starke gufseiserne Platte *A* senkrecht aufgestellt und mit Schraubenbolzen befestigt, durch sie tritt das Druckrohr *D* der hydraulischen Presse hindurch. Zwei eiserne Zugstangen *B C* greifen gleichfalls durch diese Platte und werden durch Vorsteckbolzen daran gehalten. Eine zweite ebenso hohe gufseiserne Platte *E* steht ohne weitere Befestigung lose auf dem Rahmen und läfst sich hin- und herschieben, indem sie nur durch die beiden Zugstangen *B C* gehalten wird. Hinter der letzten Platte befindet sich ein gufseiserner Riegel *F*, durch welchen die beiden Zugstangen gleichfalls hindurchgreifen und den sie mittelst Schraubenmuttern halten. In der Mitte dieses Riegels bewegt sich die starke Schraube *G*, welche die zweite Platte *E* gegen die erste *A* prefst. Man legt die zu prüfende Röhre auf passende Unterlager *H*, so dafs die Achse der Röhre parallel mit den beiden Zugstangen und zwar in deren Mitte trifft, auch mufs sie weder höher noch tiefer als diese liegen. In diesem Falle trifft die Schraube *G* und das Druckrohr *D* gleichfalls in die Achse der Röhre. Alsdann dreht man die Schraubenmuttern am Ende der Zugstangen so weit, dafs der Riegel *F* nicht weit von dem Ende der Röhre entfernt ist, legt starke Lederringe oder geflochtene Kränze aus Hanf an beide Enden der Röhren und schiebt die Platten *A* und *E* dagegen. Indem man zuletzt noch die Schraube *G* fest anzieht, so ist die Röhre sicher geschlossen, und wenn sie auch an beiden Enden nicht ganz parallel abgeschnitten sein sollte, so lassen die beiden Platten sich doch weit genug neigen, um einen genauen Schlufs hervorzubringen. Nunmehr kommt es darauf an, die Röhre mit Wasser anzufüllen. In der Platte *E* befinden sich zu diesem Zwecke verschiedene Paare von Oeffnungen, die mit Schrauben und vorgelegten Lederringen fest geschlossen werden können. Man öffnet zwei derselben, die noch in die Röhre, jedoch möglichst nahe an ihren obern Rand treffen. In die eine stellt man den gekrümmten

Ausgufs eines Trichters, durch welchen man Wasser eingiefst, und die andere dient zum Entweichen der Luft. Es bedarf kaum der Erwähnung, dafs die Füllung vollständiger geschieht, und weniger Luft in der Röhre zurückbleibt, wenn der Rahmen nicht ganz horizontal, sondern etwas geneigt verlegt wird. Kann man kein Wasser mehr hineintreiben, so schliefst man beide Oeffnungen und setzt die hydraulische Presse in Bewegung. Das Sicherheitsventil ist auf den Druck von 10 Atmosphären beschwert, und man pumpt so lange, bis dieses wiederholentlich aufspringt. Wenn die Röhre durch diesen Druck nicht beschädigt wird, noch auch Wasser durchläfst, so ist sie in dieser Beziehung tadelfrei. Am häufigsten pflegen undichte Stellen sich da zu zeigen, wo man den Kern mit dem Formkasten durch eiserne Bolzen verbunden hatte.

Zur Zusammensetzung der gufseisernen Röhren versah man sonst, wie auch jetzt noch zuweilen geschieht, jedes einzelne Stück an jedem Ende mit einem vorstehenden Rande oder Flansch, worin sich nach Maafsgabe der Weite der Röhre 4 bis 8, auch wohl noch mehr Löcher befanden, durch die man eben so viele Schraubenbolzen einzog, Fig. 96 zeigt diese Verbindung. Um aber einen gehörig wasserdichten Schlufs zu bewirken, ist dieser Rand nicht durch eine Ebene, sondern durch eine flach conische Fläche begrenzt. Eine ringförmige Bleiplatte, an welche sich auf jeder Seite eine getheerte Tuch- oder Lederscheibe anschliefst, legt man auf den Stofs zweier Röhren und zwar innerhalb der Schraubenbolzen, wodurch beim Anziehn der Muttern ein sehr dichter Schlufs neben der innern Röhrenwand erfolgt, ohne dafs die äufsern Ränder mit einander in Berührung kommen. So fest die auf solche Art dargestellte Verbindung auch ist, und wie sehr sie sich auch zur Zusammensetzung von Maschinentheilen eignet, so ist sie für einen längeren Röhrenstrang, dem man gern einige Biegsamkeit giebt, nicht passend. Aufserdem kann man hierbei die Wandstärke nicht in der Art vermindern, wie dieses oben angegeben ist, weil sonst zwischen ihr und dem Rande (der eine gröfsere Stärke erhalten mufs) wegen der ungleichförmigen Erkaltung leicht ein Bruch erfolgt. Endlich ist die Verbindung wegen der vielen Schraubenbolzen auch kostbar, und dieses um so mehr, als die einzelnen Röhrenstücke, wenn sie in dieser Art und in der gröfseren Wandstärke gegossen werden, gemeinhin nur 3 Fufs lang sind.

In neuerer Zeit ist man von dieser Verbindungsart abgegangen und giebt dafür jeder Röhre an einer Seite einen erweiterten Hals, in welchen das Ende der folgenden Röhre eingreift, wie Fig. 97 zeigt. Auf solche Art fassen die Röhren 4 bis 6 Zoll übereinander, und der freie Zwischenraum, dessen Weite etwa der Wandstärke der Röhre gleichkommt, wird zur halben Länge mit aufgelockertem Tauwerk angefüllt und ausgestampft. Nachdem dieses geschehn, wird die Mündung der Fuge mit Lehm geschlossen und der übrige Raum mit Blei ausgegossen. Endlich schlägt man mit einem passenden Eisen in den Bleiring eine Furche um den letzteren sowol an die innere, als an die äufsere Röhrenwand anzutreiben und ihm dadurch die nöthige Wasserdichtigkeit zu geben. Dieser Schlufs gewährt den Vortheil, dafs der Röhrenstrang etwas Biegsamkeit behält und sich bei Temperaturveränderungen auch etwas ausziehn kann.

Diese Art der Zusammensetzung vergröfsert in zweifacher Beziehung die Kosten für die Anlage einer Röhrenleitung, nämlich zunächst verlängert sich jeder Theil derselben um den erweiterten Hals, dessen Länge bei weiteren Röhren 6 Zoll mifst, und sich nicht füglich vermindern läfst. Wollte man letzteren auf 2 oder 3 Zoll reduciren und den Zwischenraum unmittelbar vergiefsen, so würde das Blei zwischen den unebenen Gufsflächen hindurch in die Röhre treten. Um dieses zu verhindern ist der Schlufs mit Werg nicht zu umgehn. Sodann ist aber auch die grofse Quantität Blei, die man darüber bringen mufs, nicht ohne Einflufs auf die Kosten. Es sind deshalb in neuerer Zeit verschiedene Versuche mit andern Verbindungs-Arten gemacht worden, die nach den darüber veröffentlichten Mittheilungen zu günstigen Resultaten geführt haben.

Die Unebenheiten der Gufsflächen sind durch Abdrehn der beiden Röhren-Enden leicht zu beseitigen, und indem dieses an allen einzelnen Stücken einer Leitung sich wiederholt, so sind die Kosten dafür nicht bedeutend. Dadurch wird aber ein so dichter Schlufs dargestellt, dafs ein Hindurchfliefsen des Bleies verhindert wird, und sonach die Dichtung mit Werg entbehrt und in entsprechendem Maafse auch die Länge des Halses verringert werden kann. Man ist dabei in manchen Englischen Städten aber noch weiter gegangen, indem man selbst das Vergiefsen mit Blei unterlassen und einfachere Dichtungen angewendet hat. Zu diesem Zwecke war es aber nothwendig, nicht nur scharfe Ränder, sondern Flächen von mefsbarer

Breite zur unmittelbaren Berührung zu bringen, und dieses liefs sich leicht erreichen, indem man die Enden der Röhren nach übereinstimmenden concaven und convexen Kegelflächen abdrehte. Wurden dieselben polirt, so stellten sie ohne irgend welche Zwischenlage schon den dichten Schlufs dar. Bei Temperatur-Veränderungen hörte derselbe jedoch auf, auch brachen Stücke von der umschliessenden Röhre aus, sobald irgend eine Senkung eintrat, und selbst das Verlegen der Röhren machte grofse Schwierigkeit, da die Kegelflächen gar keine Abweichung von der durch sie bestimmten Richtung gestatteten. Sobald ein Röhrenstück angesetzt und scharf eingetrieben wurde, so nahm es sowol horizontal, wie vertikal diese Richtung an, und der Strang wurde vollkommen steif.

Bei den in neuerer Zeit in Liverpool verlegten Röhren hat man daher die Breite der Kegelfläche bis auf die Wandstärke der Röhren reducirt, und in dem eingeschobenen Theile sogar in der äufsern Hälfte eine etwas flachere Kegelfläche gewählt, woher die Berührung nur in sehr geringer Breite erfolgt, und dadurch die Möglichkeit geboten ist, die Richtung zu verändern. Der dichte Schlufs wurde durch aufgelockertes Tauwerk dargestellt, das man vorher mit heifsem Theer tränkte, und wie beim Abdichten eines Schiffes eintrieb. Diese Verbindungs-Art soll den Erwartungen vollständig entsprochen, und bei Temperatur-Veränderungen, wie auch bei zufälligen Versackungen zu keinen Wasser-Verlusten Veranlassung gegegeben haben.

In Frankreich hat eine andre Art der Verbindung, die sich aus Fig. 42 auf Taf. III ergiebt, vielen Beifall gefunden. Nach ihrem Erfinder wird sie das System von Doré genannt. Der eingeschobene Theil der Röhre schliefst mit einer Kugelfläche, gegen welche der sehr kurze Hals der andern Röhre mit einer scharfen Kante sich lehnt. Indem die Figur alle Theile in dem richtigen Maafse zeigt, so bedarf die ganze Anordnung keiner weitern Beschreibung, und es wäre nur darauf aufmerksam zu machen, dafs der äufserste Theil des Halses auf der innern Seite nicht cylindrisch, sondern etwas conisch ausgedreht ist, und zwar so, dafs sein Durchmesser in der Mündung sich etwas verengt. Dieses geschieht, um dem darin befindlichen Blei mehr Haltung zu geben. Das Blei wird gewöhnlich eingegossen, doch hat man auch versucht, passende Bleiringe einzuschieben und durch stumpfe Meifseln sowol gegen die Kugelfläche,

als gegen den Hals fest anzutreiben. Dieses soll auch in genügender Weise geglückt sein und wesentliche Erleichterung beim Verlegen der Röhren geboten haben.

Es ist nicht zu verkennen, dafs Röhrenstränge dieser Art ohne Nachtheil bedeutende Krümmungen beschreiben können und einen hohen Grad von Flexibilität auch später behalten. Ihre Kosten stellen sich wegen der geringeren Länge des Halses wohlfeiler als die der gewöhnlichen Röhren und überdiefs tritt beim Umlegen und Aufnehmen der Röhren noch der wesentliche Vortheil ein, dafs der schmale Bleiring leicht ausgeschmolzen werden kann, und die schwierige Beseitigung des eingetriebenen Tauwerks ganz umgangen wird.

Die landwirthschaftliche Gesellschaft der Sarthe unterzog die in dieser Art verbundenen Röhren verschiedenen Proben. Es wurden Stränge von 280 Fufs Länge dargestellt und an beiden Enden sicher gestützt, damit der starke Druck sie nicht auseinander schieben möchte. War das Blei eingegossen, so blieb der Schlufs selbst unter dem Drucke von 10 Atmosphären noch vollkommen dicht. Bei eingeklopften Bleiringen schwitzte dagegen schon unter 6 Atmosphären Druck etwas Wasser aus den Fugen, und wie der Druck sich verstärkte, nahm der Wasserverlust zu. Bei 13 Atmosphären wurde endlich ein Bleiring ganz herausgedrückt.

Eine andre Art der Dichtung der Stöfse von gufseisernen Röhren, die man in früherer Zeit vielfach benutzte, besteht in der Anwendung des beim Zusammensetzen von Maschinen gebräuchlichen Eisenkittes, der in den erweiterten Hals gestrichen wird. Derselbe besitzt die Eigenschaft, dafs er beim Erhärten sich etwas ausdehnt, indem die blanken Eisenfeilspähne oxydiren. Es bedarf kaum der Erwähnung, dafs dieser Kitt eine absolut steife Verbindung darstellt, und der Strang durch ihn die Flexibilität vollständig verliert.

Endlich kann man solche Röhren, die am Ende ineinander greifen, auch durch hölzerne Keile dichten *), und diese Verbindung gewährt nicht nur den Vorzug einer geringen Flexibilität, sondern sie ist auch mit einer ansehnlichen Kostenersparung verbunden. Die Leitungsröhren zu Norwich waren seit 40 und die zu New Castle upon Tyne seit 50 Jahren auf diese Art zusammengesetzt, als Wicksteed ums Jahr 1830 dasselbe Verfahren auch bei der East-London

*) *The Civil Engineer's and Architect's Journal. Vol. I. p. 242.*

Wasserleitung in Anwendung bringen wollte. Dafs es wohlfeiler war, litt keinen Zweifel und über die Dauer und den dichten Schlufs der Verbindungsart gaben die bereits gemachten Erfahrungen volle Sicherheit. Es blieb nur zweifelhaft, ob bei dem starken Drucke von 100 Fufs oder darüber die Keile herausgetrieben werden möchten, was von Vielen besorgt wurde. Ein deshalb angestellter Versuch, wobei Röhren von 18, 5 und 3 Zoll Weite auf diese Art verbunden wurden, zeigte indessen den Ungrund einer solchen Besorgnifs. Der Druck wurde jedesmal bis 712 Fufs Rheinländisch gesteigert, und kein Keil sprang heraus und überhaupt zeigte sich keine Undichtigkeit. Hierauf genehmigte die Gesellschaft den Vorschlag, und die sämmtlichen Leitungsröhren, die im Ganzen 22 engl. Meilen lang waren, wurden in dieser Art verbunden. Die Verbindung zeigte sich als sehr dauerhaft und die Reparaturen waren geringer, als beim Blei oder beim Eisenkitt. Nach der Vergleichung, die Wicksteed mittheilt, ist das Verhältnifs der Kosten der drei Verbindungsarten, nämlich mit Blei, mit Eisenkitt und mit Holzkeilen durchschnittlich wie 3 zu 2 zu 1. Bei weiten Röhren ist der Vortheil der Holzkeile noch bedeutender, bei engen aber wegen der schwierigeren Arbeit merklich geringer, doch auch bei den 3 Zoll weiten Röhren erspart man gegen Blei noch die Hälfte.

Das Verfahren bei der Anfertigung und Einbringung der Holzkeile ist folgendes: man schneidet Kiefernstämme (*Danzig fir*) in 9 Zoll lange Klötze und spaltet sie mit der Axt in Stücke von etwa 2 Zoll Breite und ¾ Zoll Stärke, sie werden auf der Schneidebank mit einem Schneidemesser, das die Rundung der innern Röhre hat, auf der einen Seite concav cylindrisch geformt, auf der äufseren Seite aber mit einem flacheren Schneidemesser durch kegelförmige Flächen nach beiden Enden zugeschärft. Fig. 98 Taf. VII stellt diese Doppelkeile in der vordern Ansicht und im Längen- und Querdurchschnitte dar. Alsdann sägt man sie in der Mitte auseinander, so dafs jedes Stück zwei Keile giebt. Man stellt sie im Kreise in die zu schliefsende Fuge, und wenn sie nicht den ganzen Raum füllen, so spaltet man von einem Keile so viel ab, bis er sich an die beiden nächsten anschliefst. Nunmehr hält der Arbeiter ein passendes Holz darüber und schlägt mit dem Hammer immer im Kreise herum, so dafs alle Keile gleichmäfsig eindringen. Ist er nicht im Stande sie ganz hineinzubringen, so wird der noch vorstehende Theil abgeschnitten. Am Schlusse jedes

Tagewerkes füllt man den frischgelegten Theil mit Wasser und setzt ihn demjenigen Wasserdrucke aus, den er später erleiden kann, am bequemsten ist es, wenn man das Ende der letzten Röhre verstopft und das Wasser aus dem Speisebassin hineintreten läfst. Man untersucht dabei sorgfältig jeden Stofs, und wenn einer derselben nicht dicht ist, so werden darin später noch schmale feine Keile eingetrieben, wie Fig. 99 zeigt.

Sind die Röhren in der Art verbunden, dafs jede in den erweiterten Hals der nächsten eingreift (Fig. 97), so läfst sich eine einzelue Röhre nicht ausnehmen und durch eine andre ersetzen, man mufs vielmehr dieselbe zerschlagen, und die dafür später einzulegende in andrer Art mit der folgenden verbinden. Letzteres geschieht mittelst der übergeschobenen Muffe, die auch vielfach bei neuen Leitungen in Abständen von 100 bis 300 Fufs angebracht wird, um bei vorkommenden Auswechselungen Endpunkte zu gewinnen, von welchen ab der Strang sich in seine einzelne Theile zerlegen läfst. Die Muffe besteht aus einem gufseisernen Ringe von der doppelten Länge des gewöhnlichen Halses, und wird, wie Fig. 100 zeigt, über den Stofs zweier Röhren geschoben und in gleicher Weise abgedichtet, wie sonst in dem erweiterten Halse geschieht, der hier fehlt.

Bei gufseisernen Röhren lassen sich Abzweigungen unter jedem beliebigen Winkel leicht anbringen, indem die passenden Wechselstücke, deren eines Fig. 101 Taf. VIII im Durchschnitte zeigt, besonders gegossen werden. Man pflegt solchen Stücken gewöhnlich keine grofse Länge zu geben, weil ihr Gufs dadurch zu schwierig werden würde. Ebenso werden Röhrenstücke, welche Krümmungen bilden sollen, besonders gegossen, und wenn man diesen eine mäfsige Länge giebt, so kann man durch sie und dazwischen geschobene gerade Stücke jede beliebige Curve darstellen. D'Aubuisson gab ihnen die Länge von 3 Fufs und ihre Krümmung entsprach einem Winkel von 15 Graden, oder ihr Krümmungshalbmesser betrug etwa $11\frac{1}{2}$ Fufs. Der Einflufs dieser Krümmung auf die Bewegung des Wassers war unmerklich.

Von der Verbindung der gufseisernen Röhren mit hölzernen ist schon früher die Rede gewesen. Die Verbindung mit bleiernen Röhren stellt Fig. 102 dar. Man erweitert die Bleiröhre an einem Ende, so dafs sie einen aufgebogenen Rand erhält und zieht

einen starken Ring aus Schmiedeeisen darüber, der gegen den Rand der gufseisernen Röhre mit Schraubenbolzen befestigt wird. Diese Verbindungsart kommt in Paris häufig vor, indem bei kleineren Leitungen die Krümmungen gewöhnlich durch Bleiröhren gebildet werden. Will man aber schwache Bleiröhren von den gufseisernen abzweigen, so wählt man die Verbindungsart, die Fig. 103 *a* in der Seitenansicht und Fig. 103 *b* im Querschnitte gezeichnet ist. An das Ende der Bleiröhre wird ein breiter Rand, der gleichfalls aus Blei besteht, angelöthet. Diesen biegt man nach der Krümmung der gufseisernen Röhre, an welche er sich anschliefsen soll, und zwischen beide legt man einen getheerten Lederring. Alsdann wird die Hälfte einer ringförmigen Zwinge aus Schmiedeeisen mit der darin angebrachten Oeffnung auf die Bleiröhre gezogen, ein Lederring dazwischen gelegt, und sobald man die Schrauben, welche sie mit der untern Hälfte verbinden, anzieht, so prefst sich jener Bleirand genau schliefsend an den äufsern Umfang der gufseisernen Röhre.

Unter den Nebentheilen einer eisernen Röhrenleitung müssen zunächst die Hähne erwähnt werden. Fig. 104 *a* und *b* zeigt einen solchen in der Seitenansicht und im Durchschnitte. An die Röhre ist ein Kegel, der sie senkrecht durchschneidet, angegossen, und in diesem befindet sich der gleichfalls kegelförmig gestaltete Hahn. Letzterer besteht gewöhnlich aus Gufseisen, und ist mit einer cylindrischen Oeffnung versehn, die der Weite der Röhre gleichkommt, so dafs keine Verengung des Querschnittes erfolgt, sobald der Hahn ganz geöffnet ist. Dafs der Hahn und ebenso auch die conische Oeffnung genau abgedreht und abgeschliffen sein müssen, darf kaum erwähnt werden, der mittlere Durchmesser des Hahns mufs sich aber zur lichten Weite der Röhre mindestens wie 5 : 3 verhalten, weil sonst ein sicherer Schlufs nicht erfolgen kann. Endlich ist noch darauf aufmerksam zu machen, dafs der Kegel, den der Hahn bildet, nicht zu spitz, auch nicht zu stumpf sein darf, denn im ersten Falle erschwert ein starkes Klemmen die Bewegung, und im letzten ist der Schlufs nicht hinreichend dicht. Man wählt gemeinhin eine Kegelform, wobei der Durchmesser der Grundfläche dem siebenten bis fünften Theile der Höhe gleichkommt. Um das Heben des Hahns zu verhindern, ist derselbe unten mit einer Scheibe versehn, die entweder, wie hier gezeichnet, durch einen Keil gehalten wird, oder dieses geschieht mittelst einer oder mehrerer Schrauben. Die

Scheibe darf indessen die untere Fläche des Hahns nicht unmittelbar berühren, damit sie, wenn es nöthig ist, schärfer angezogen werden kann, auch muſs sie so befestigt sein, daſs sie sich mit dem Hahne zugleich dreht, weil sie sich sonst lösen würde. Der untere Zapfen des Hahns ist daher viereckig. Die Drehung wird dem Hahne auf die einfachste Weise mittelst eines eisernen Hebels ertheilt.

Wie unentbehrlich die Hähne bei Wasserleitungen auch sind, so kann man sie doch nur bei engeren Röhren in Anwendung bringen, weil sie sonst eine zu starke Reibung der Bewegung entgegensetzen. Schon bei 6 Zoll weiten Röhren kommen sie selten vor und sind alsdann schwer zu bewegen. Bei der Wasserleitung in Toulouse benutzte man sie nur bei Röhren, die weniger als 4½ Zoll im Durchmesser hielten. Girard brachte dagegen bei den Leitungen in Paris, die durch den Ourcq-Canal gespeist werden, die Aenderung an, daſs er auf den obern Zapfen des Hahns ein gezahntes Rad befestigte, welches durch zwei einander gegenüberstehende Getriebe mittelst Curbeln bewegt wird. Wenn beide Curbeln gleichmäſsig angezogen werden, so verursachen sie keinen vermehrten Druck gegen die Seitenfläche des Hahns und sonach auch nicht die Reibung, welche eine einzelne Curbel veranlassen würde. Auſserdem brachte Girard sowol über, als unter dem Hahne und zwar in der Achse desselben noch Schrauben an, mittelst deren der Hahn gehoben oder gesenkt und dadurch so gestellt werden konnte, daſs er, ohne zu stark zu klemmen, doch gehörig schloſs. Endlich war der Hahn, der aus Glockenmetall bestand, hohl gegossen. Auf diese Art benutzte Girard die Hähne noch bei Röhren, die beinahe 10 Zoll im Durchmesser hielten.

Bei weitern Röhren ist der Hahn nicht mehr zu gebrauchen, und unter den Vorrichtungen, die man alsdann wählt, um den Durchfluſs zu sperren, ist besonders das Schiebeventil zu erwähnen, welches Fig. 105 *a*, *b* und *c* in der Seitenansicht und im Längen- und Querdurchschnitte zeigt. Zur Erklärung dieser Figuren darf nur erwähnt werden, daſs die Bewegung durch eine Schraube erfolgt, deren Kopf durch eine Stopfbüchse geht, die also neben sich kein Wasser durchflieſsen läſst. Sie faſst nicht unmittelbar den umgebogenen Rand des Schiebers, sondern eine in denselben lose eingesetzte Mutter, wodurch diese etwas Spielraum erhält, und weniger

leicht ein Klemmen eintritt, wenn auch die Stopfbüchse scharf angezogen ist.

Das Schiebeventil selbst besteht häufig aus Messing oder Glokkenmetall, in neuerer Zeit pflegt man indessen die Anwendung andrer Metalle neben dem Eisen zu vermeiden, weil dadurch die Oxydation befördert wird, und stellt den ganzen Apparat aus Schmiede- und Gufseisen dar, wodurch er zugleich wohlfeiler wird. Noch ist zu bemerken, dafs der wasserdichte Schlufs sich nur darstellt, wenn der Wasserdruck in der durch den Pfeil angedeuteten Richtung (Fig. 105*b*) wirkt.

Zuweilen ist es nöthig, auch das Zurückfliefsen des Wassers zu verhindern, dieses wäre etwa der Fall, wenn man abwechselnd durch dieselbe Maschine zwei Leitungen speist, von denen die eine viel höher liegt, als die andre, und jene daher in diese sich entleeren würde. Man bringt alsdann das Fig. 106*a* und *b* in der Seitenansicht und im Durchschnitte dargestellte Klappenventil an, dessen Einrichtung sich aus der Figur vollständig ergiebt.

Eine besondere Erwähnung verdient endlich noch die Art, wie man die Mündung einer Röhrenleitung öffnet oder schliefst. Dabei können Kegel- und Klappenventile gebraucht werden, die sich mittelst einer einfachen Vorrichtung von oben aus bewegen lassen. Bei der Speisung der Pariser Wasserleitung aus dem Ourcq-Canal benutzte Girard hierzu kupferne Röhren, die unten das Kegelventil bildeten. Die Figuren 107*a* und *b* zeigen sie im Längendurchschnitte und in der Ansicht von oben. Sieben Stück gekrümmte gufseiserne Röhren von 10 Zoll Durchmesser schöpfen das Wasser in der Tiefe von 5 Fufs unter dem gewöhnlichen Wasserspiegel des Bassins la Villette. Ihre Mündungen sind conisch und zwar nach der Form des contrahirten Strahles ausgeschliffen. Senkrecht über ihnen schweben eben so viele Röhren aus Kupferblech, jede 6½ Fufs lang*), die man durch eiserne Hebel heben und senken kann, damit diese Röhren aber immer in der Achse der Einflufsmündung bleiben, so sind die Ketten, an welchen sie hängen, um eiserne Bogen am vordern Ende der Hebel geschlungen. Jede Röhre ist endlich durch drei eiserne Ringe im Innern verstärkt und hat unten einen starken messingenen Ring, der genau an die aufwärts gerichtete Mün-

*) Die Figur ist, um die einzelnen Theile noch deutlich darzustellen, etwas verkürzt.

dung des Schöpfrohres sich anschliefst. Durch diese Vorrichtung erreicht man den wichtigen Vortheil, dafs beim schnellen Schlusse die Wassermenge, die in der Röhre sich bewegt, nicht plötzlich zur Ruhe kommt, wobei die Gefahr eines heftigen Stofses, wie bei einem Stofsheber, eintreten würde. Die messingene Röhre ist nämlich oben offen, und sobald sie den Zutritt des Wassers sperrt, so schöpft sie noch Luft und das Wasser in der Leitung kann in Folge seines Trägheits-Momentes die Bewegung fortsetzen, bis es beim abnehmenden Drucke zur Ruhe kommt oder rückwärts fliefst.

Auch in gufseisernen Wasserleitungen dürfen Luftspunde nicht fehlen, bei der gröfsern Vorsicht im Verlegen der Röhren und Auffangen des Wassers befinden sie sich hier aber gemeinhin in gröfsern Abständen, als für die hölzernen Röhren angegeben ist. Wo die Localität es erlaubt, kann eine dünne Bleiröhre, die bis über das Niveau des Speisebassins heraufreicht, als Luftrohr dienen. Ein solches bedarf keiner weiteren Beaufsichtigung, doch findet sich zur Anbringung desselben nur selten Gelegenheit. Am häufigsten wird eine kurze, aufwärts gerichtete Zweigröhre von Gufseisen angebracht, deren oberes Ende durch einen Hahn geschlossen ist. Beim Anlassen der Röhren und auch zuweilen während des Betriebes öffnet man diesen Hahn, schliefst ihn aber, sobald Wasser ausströmt. Man kann statt des Hahns auch ein Kegelventil anbringen, das gemeinhin in diesem Falle sich nach unten öffnet und an einem hervorragenden Stiele herabgedrückt wird. Zuweilen verbindet man auch dieses Ventil mit einem Schwimmer, der so eingerichtet ist, dafs er sich nach Bedürfnifs von selbst öffnet und schliefst. Fig. 108 zeigt ein solches Ventil, das in Edinburg ausgeführt ist, und zwar ist *a* die Seitenansicht und *b* der Querschnitt. Das Ventil ist hier geöffnet dargestellt. Sein Stiel wird theils durch die Oeffnung im Boden der messingenen Büchse, worin die Ventilöffnung sich befindet, und theils unter dem Schwimmer durch einen Ring gehalten, welcher durch drei Arme sich mittelst Schrauben so stellen läfst, dafs das Ventil genau die Oeffnung trifft. Wenn die Röhre leer ist, ruht der Schwimmer auf dem erwähnten Ringe und beim Eintreten des Wassers findet die Luft durch die Ventilöffnung einen freien Ausgang. Sobald aber das Wasser die Leitungsröhre gefüllt hat und in die senkrechte Ansatzröhre steigt, so hebt es den Schwimmer und mit ihm das Ventil. Letzteres wird also von selbst geschlossen,

sobald die Luft entfernt ist. Auch die Luft, welche während des Betriebes der Leitung sich im Cylinder sammelt, giebt Veranlassung, dafs der Schwimmer von selbst herabfällt. Alsdann öffnet sich das Ventil so lange, bis das Wasser wieder in die Röhre tritt. Diese letzte Art ihrer Wirksamkeit erfolgt indessen nicht, wenn der Druck so grofs ist, dafs die Spannung der Luft unter dem Ventile dasselbe trägt. Es kommt auch noch der Uebelstand hinzu, dafs solche Ventile sich oft fest ansaugen. Man mufs sie daher von Zeit zu Zeit herabstofsen, indem sie aber auf diese Art sich nicht selbst überlassen bleiben dürfen, so wendet man statt ihrer gewöhnlich Hähne an.

In den tiefsten Stellen der Leitungen, oder wo man sonst ein starkes Absetzen von Sand oder Schlamm besorgt, bringt man in den untern Flächen der Leitungsröhren kurze Ausgufsröhren an, die mit Hähnen geschlossen sind. Durch diese werden die Niederschläge sicher und leicht entfernt, man mufs jedoch dafür sorgen, dafs das herausstürzende Wasser auch freien Abflufs findet.

Um zu verhindern, dafs die Röhre beim schnellen Schliefsen eines Hahns oder einer Klappe nicht einen gar zu heftigen Stofs erleidet, sind Luftventile, die sich von selbst öffnen, von grofsem Nutzen. Oberhalb der Stelle aber, wo die Sperrung erfolgt, mufs ein gehörig beschwertes Sicherheitsventil eingerichtet sein, das nach aufsen aufschlägt. Das sicherste Mittel, um solche Stöfse zu vermeiden, ist die Vorsicht, dafs man die Hähne oder ähnliche Vorrichtungen nur langsam schliefst. Bei den Schiebeventilen (Fig. 105) verhindert schon die Anwendung der Schraube eine zu schnelle Bewegung.

Wenn die gufseisernen Röhren mittelst vorstehender Ränder mit einander verbunden sind (Fig. 96), oder wenn sie in die erweiterten Hälse eingreifen (Fig. 97) und durch Eisenkitt gedichtet werden, so bilden sie einen festen Strang, der eine Verlängerung oder Verkürzung nicht gestattet. Sind die Enden einer solchen Leitung, wie gewöhnlich geschieht, eingemauert, so werden bei einer starken Temperaturveränderung die Röhren in den Befestigungspunkten lose, auch leidet dabei die Mauer und die Röhren werden undicht. Veranlassung hiervon ist die Ausdehnung oder Verkürzung des Röhrenstranges durch Wärme oder Kälte. Nach Tretgold's Beobachtungen dehnt sich das Gufseisen bei der Erwärmung vom Gefrierpunkte bis zum Siedepunkte des Wassers um 0,00111 seiner Länge aus, dagegen hat

Girard die Ausdehnung durch Beobachtung der Compensationsstücke in den Wasserleitungen zu Paris um den neunten Theil geringer gefunden. Hiernach würde eine Temperaturerhöhung um 16 Grade Réaumur, die man im Wasser des Ourcq-Canals bei Paris beobachtet hat, den Röhrenstrang beinahe um den sechstausendsten Theil verlängern, oder eine Röhre von einer Viertelmeile Länge würde sich ungefähr um einen Fufs ausdehnen. Um hierzu Gelegenheit zu geben, hat man besondere Compensationsstücke in den Leitungen angebracht, die sich verlängern und verkürzen können. Eine ältere Methode zu ihrer Darstellung bestand darin, dafs ein gufseiserner Reif von viel gröfserm Durchmesser als die Leitungsröhren, zwischen zwei der letzteren concentrisch gestellt und durch zwei dünne kreisförmige Kupferscheiben mit diesen verbunden wurde. Es bildete sich auf solche Art in der Röhrenleitung ein kurzer, aber weiter und hohler Cylinder, dessen beide Grundflächen nicht steif, sondern biegsam waren, und indem an diese die nächsten Röhren befestigt wurden, so bauchten die Grundflächen etwas aus, oder drückten sich ein, ohne dafs dadurch ein Bruch oder eine Undichtigkeit entstand. Diese Vorrichtung war indessen wenig solide und konnte auch nur unter sehr mäfsigem Drucke benutzt werden, woher nur selten davon Gebrauch gemacht ist. Am häufigsten wendet man die Fig. 109, *a* und *b* in der Seitenansicht und im Durchschnitte dargestellte Compensation an. Es kann nämlich die Röhre *A* sich in die Röhre *B* weiter hinein- oder aus derselben herausschieben, und damit sie in jeder Stellung gehörig geschlossen ist, so bewegt sie sich in einer Stopfbüchse. Sie ist deshalb in der äufsern Fläche abgedreht und polirt und wird von einem ringförmigen Polster fest umschlossen, das letzte liegt im Halse der Röhre *B* und lehnt sich gegen den Ring *C*. Sobald das Polster nicht mehr schliefst, und das Wasser neben demselben zu entweichen anfängt, so kann man mittelst der sechs oder acht Schraubenbolzen, welche durch den vorstehenden Rand der Röhre *B* und den Ring *C* gezogen sind, diese näher zusammenbringen und dadurch das Polster schärfer anpressen. Diese Vorrichtung ist jedoch nur da anwendbar, wo die Röhre zugänglich ist, also wo sie frei in einer Gallerie liegt. Bei den Wasserleitungen in Paris brachte man solche Compensationen alle 100 Meter oder in 318 Fufs Entfernung von einander an, auch in England sınd sie vielfach gebraucht, sie sind jedoch entbehrlich, wenn

die Fugen zwischen den einzelnen Röhren mit Blei ausgegossen, oder mit Holzkeilen gedichtet sind.

Was das Verlegen der gufseisernen Röhren betrifft, so treten hier dieselben Rücksichten ein, welche bereits bei Gelegenheit der hölzernen Röhren erwähnt sind. Am vortheilhaftesten ist es, wenn die Stränge in unterirdischen Gallerien liegen, wie dieses bei gröfseren Leitungen oft geschieht. Fig. 110*c* zeigt den Querschnitt der Gallerie, worin in Paris die Leitungsröhren von der Anhöhe am nördlichen Rande der Stadt nach dem tieferen Theile, zunächst der Seine herabsteigen. Die Röhren liegen theils auf hölzernen und theils auf steinernen Unterlagen, die im Mittel 4 Fufs von einander entfernt sind, und man hat sonach Gelegenheit, sie von allen Seiten zu untersuchen, und wo es nöthig ist, die Fugen zu dichten und sonstige Reparaturen vorzunehmen. In andern Fällen werden die Röhren in der Gallerie von gufseisernen Stühlen getragen.

Die Kosten für solche Gallerien sind indessen so bedeutend, dafs man nur selten, und jedesmal nur für die Hauptleitungsröhren, sich zu ihrer Anlage entschliefst. Will man sie vermeiden, so kann man die Röhren entweder unmittelbar in dem Boden, oder noch in andern kleineren bedeckten Gängen verlegen. In Paris hielt man früher das Vorhandensein der vielen überwölbten Abzugsrinnen (*égouts*), die so geräumig sind, dafs ein Mann noch gebückt durchgehn kann, in dieser Beziehung für einen grofsen Gewinn und brachte darin steinerne Consolen an, auf welche man die Wasserröhren legte. Der Erfolg war jedoch keineswegs befriedigend, denn die Untersuchung der Röhren war wegen der ungesunden Luft und des Schmutzes in diesen Abzugsrinnen viel schwieriger, als da, wo die Röhren unmittelbar unter dem Strafsenpflaster lagen, und aufserdem konnte man bei jeder vorzunehmenden Reparatur und beim Gebrauche der Luftspunde und Hähne nicht vorsichtig genug sein, um eine Verunreinigung des Wassers zu verhindern.

Demnächst hat man auch zuweilen die Röhren, um sie vor den Stöfsen des darüber gehenden Fuhrwerks zu sichern, in kleine gemauerte Canäle gelegt, die nur so eben die Röhren umschliefsen und mit Steinplatten bedeckt sind. Hierbei zeigt sich indessen die Unbequemlichkeit, dafs man, sobald ein Wasserverlust eintritt, nicht weifs, wo man die schadhafte Stelle suchen soll, indem das ausfliefsende Wasser den Canal verfolgt und oft erst in grofser Entfernung von der

zersprungenen Röhre oder der undichten Fuge zum Vorschein kommt. So zeigten sich in einem solchen Falle in der Straſse Bondy in Paris die Quellen in einer Entfernung von fast 300 Fuſs von der schadhaften Stelle, und man war daher gezwungen, auf eine groſse Länge das Pflaster vergeblich aufzureiſsen und nachzugraben. Anders verhält es sich, wenn die Röhren unmittelbar in den Erdboden verlegt und überschüttet sind. Die schadhafte Stelle giebt sich alsdann sogleich durch das Einsinken des Pflasters zu erkennen, die Gefahr wegen der Erschütterungen verschwindet auch, wenn die Röhren fest unterstützt und solche Verbindungen gewählt sind, wobei der Strang einige Flexibilität behält. Nur an den Stellen, wo besonders groſse Lasten darüber gefahren, oder darauf geworfen werden, wie etwa vor den Werkstätten der Steinhauer, bemerkt man häufige Beschädigungen. Werden die Röhren frei in den Boden verlegt, so gräbt man denselben bis zur nöthigen Tiefe auf, stampft die Sohle der Grube fest an, beschüttet die Röhre mit Erde und stampft auch diese wieder, ehe das Pflaster aufgebracht wird.

Zuweilen ereignet es sich, daſs man die Leitungsröhren von dem einen Ufer eines Flusses nach dem andern hinüberführen muſs. Bei kleinen und seichten Fluſsbetten und eben so, wenn massive Brücken vorhanden sind, zeigen sich hierbei keine wesentlichen Schwierigkeiten, aber sehr bedeutend werden diese in andern Fällen. Man hat in England zu diesem Zwecke flexible Röhrenstränge angewendet, die durch Charniere in ihren einzelnen Theilen mit einander verbunden sind, und daher, ohne daſs man das Fluſsbette trocken zu legen braucht, in dasselbe versenkt werden. Der erste Versuch dieser Art wurde bei den Wasserleitungen zu Glasgow gemacht, wo die Speisequellen sich am linken Ufer der Clyde befinden, während der gröſste Theil der Stadt auf dem rechten Ufer liegt. James Watt legte im Jahre 1810 den biegsamen Röhrenstrang, den Fig. 111 Taf. IX darstellt, quer durch die Clyde. Die Leitung hatte eine Weite von 15 Zoll, die Röhren waren theils auf gewöhnliche Art mit einander verbunden, und wo dieses der Fall war, durch steife hölzerne Rahmen unterstützt, die Biegungen oder Charniere waren dagegen ähnlich der zum Aufstellen der gewöhnlichen Messinstrumente üblichen Nuſs, durch Kugelsegmente gebildet, die sich in einander drehn konnten. In der äuſsern Kugelschale befand sich ein Ring von Werg, der wie bei der Stopfbüchse durch einen Deckel angedrückt werden konnte. Dieser Deckel

setzte aber die äufsere Kugelfläche bis über den gröfsten Kreis derselben fort und verhinderte dadurch das Ausschieben der innern Kugel. Derjenige Durchmesser der Kugel, um welchen die Drehung erfolgt, ist zugleich die Achse des Charniers, das beide zunächst liegenden hölzernen Rahmen mit einander verbindet. Um zufälligen Beschädigungen vorzubeugen, war jedes Gelenk mit wasserdichter Leinwand lose umwunden, und der ganze Strang wurde noch dadurch gesichert, dafs man ihn nicht auf das natürliche Flufsbette legte, sondern zuvor eine Rinne quer durch den Flufs baggerte, hierin die Leitung versenkte und den Raum darüber mit Kies beschüttete. Die Versenkung geschah, um ein scharfes Biegen zu verhindern, möglichst gleichmäfsig von Flöfsen aus, und man hatte nach Ausweis der Figur darauf Rücksicht genommen, ungefähr einen gleichen Druck im Innern, wie im Flusse darzustellen, wodurch die Veranlassung zu einem starken Durchquellen vermieden wurde. Fig. 112 zeigt diese Construction im Detail, nämlich Fig. 112*a* in der Seitenansicht, *b* im Längendurchschnitte und *c* in der Ansicht von oben. Wegen weiterer Ausdehnung der Wasserleitungen in Glasgow wurde 1828 eine zweite Röhre von 28 Zoll Durchmesser und später noch eine dritte von 36 Zoll versenkt. Auch an andern Orten hat man ähnliche Leitungen angelegt. So liefs die Middlesex-Wasserleitungsgesellschaft oberhalb London eine 3 Fufs weite Röhrenleitung durch die Themse legen. Dieselbe bestand aus 68 einzelnen Röhren von 9 Fufs Länge, die sämmtlich durch Kugelflächen mit einander verbunden waren. Es verdient Erwähnung, dafs der Ingenieur, nachdem die Leitung gelegt war, hindurchkroch, woraus sich ergab, dafs ungeachtet des verschiedenen Wasserdruckes dennoch ein guter Schlufs in den Fugen stattfand.

Endlich mufs noch der Oxydation der gufseisernen Röhren gedacht werden. Es leidet keinen Zweifel, dafs solche fast jedesmal eintritt, selbst wenn man die Röhren vor dem Verlegen mit einem Anstrich im Innern versehn hat. Das Wasser nimmt dabei aber keine der Gesundheit nachtheilige Substanzen auf, auch wird die Röhre dabei nur unmerklich angegriffen, woher auf diesen Umstand in der Regel kein Gewicht gelegt wird. Zuweilen wird indessen darüber geklagt, dafs das mit Eisen-Oxyd versetzte Wasser die Wäsche verdirbt und Rostflecke veranlafst. Dieses geschieht jedoch nur, wenn das Wasser längere Zeit in den Röhren gestanden hat,

Bei Leitungen, die dauernd in Thätigkeit sind, bemerkt man keinen derartigen Uebelstand, wie auch allgemein das Wasser der gröfsern Leitungen zur Wäsche benutzt wird. Wenn aber eine Unterbrechung eingetreten war, so kommt es nur darauf an, jenes verunreinigte Wasser abzulassen, bevor das zur Wäsche zu benutzende aufgefangen wird.

Vor mehreren Jahrzehenden wurde indessen auf eine andere höchst bedenkliche Folge der Oxydation die Aufmerksamkeit der Ingenieure gerichtet. Im Anfange des Jahres 1826 war nämlich in Grenoble eine Wasserleitung angelegt, die Anfangs 46, sieben Jahre darauf aber nur noch 22 Cubikfufs in der Secunde gab, und die Veranlassung zu dieser sehr bedeutenden Verminderung der Ergiebigkeit glaubte man in der stellenweisen Verengung der Röhre durch grofse Knollen Eisen-Oxyd zu finden. Es trat eine Commission zusammen, um diese bisher noch nie bemerkte Erscheinung näher zu untersuchen. Aus dem unter dem 22. Nov. 1833 von derselben erstatteten Berichte *) ergab sich, dafs die Röhren keineswegs durchweg angegriffen waren, sondern es fanden sich nur stellenweise, aber oft in grofser Anzahl Stücke Eisenoxyd oder Eisenknollen vor. Sie hatten im Allgemeinen die Gestalt einer halben Birne, deren Spitze nach der Seite gekehrt war, von wo das Wasser herkam. Ihre Höhe betrug oft bis 10 Linien. Sie waren schwarz, nahmen an der Luft eine hellbraune Farbe an, und bestanden aus einer schaligen Masse, die grofsentheils leicht zerreiblich war, doch in einzelnen Schichten auch einige Härte zeigte. Die chemische Untersuchung ergab, dafs sie in der Hauptmasse aus verschiedenen Oxydationsstufen des Eisens bestanden.

Indem man nach dem Bekanntwerden dieser Erscheinung auch andere gufseiserne Leitungsröhren untersuchte, so fand man sie fast überall vor, aber nirgend in solcher Menge und solcher Gröfse, wie hier. So fanden sie sich in einer Leitung des Departements Ardèche, auch in Paris sowol in den Leitungen, die vom Ourcq-Canal, als denen, die von der Seine gespeist werden. Sie zeigten sich selbst an Roststäben, besonders aber wo Gufseisen mit Seewasser in Berührung stand. Es war also ihr Vorkommen weder eine Folge der

*) *Annales des ponts et chaussées*, 1834. I. p. 355.

eigenthümlichen Beschaffenheit des Wassers in Grenoble, noch der Zusammensetzungsart der Röhren.

Nach vielfachen Discussionen über die Ursache dieser Erscheinung und über die Mittel, derselben vorzubeugen, fand zuletzt die Ansicht Eingang, dafs das Oxygen der im Wasser enthaltenen Luft die Oxydation bewirke, und diese vorzugsweise sich da zeige, wo Stellen von grauem Gufseisen vorhanden sind. Man meinte jedoch, dafs auch hier das Zutreten von etwas Alkali oder andern fremden Körpern die nächste Ursache zur Oxydation sei, und sobald diese eingetreten, sie sich mit Leichtigkeit weiter fortsetze. Auffallend war es, dafs in den drei folgenden Jahren sich keine weitere Abnahme in der Ergiebigkeit der Röhren zu Grenoble zu erkennen gab, und sonach die Knollen sich weder zu vermehren, noch auch zu wachsen schienen.

Das Mittel, welches man zur Sicherung der Röhren in Vorschlag brachte, besteht in einem Ueberzuge, um das Wasser im Innern der Röhre nicht in unmittelbare Berührung mit dem Eisen treten zu lassen. Vicat wählte dazu hydraulischen Mörtel und Juncker, bei den Leitungsröhren der Maschine zu Huelgoat, eine Mischung von Leinöl und Bleiglätte, welche er vermöge eines sehr starken Druckes in das Gufseisen hineintrieb. *) In den meisten Fällen wird aber, wie auch wohl schon früher geschah, jede Röhre vor dem Gebrauche erwärmt, und von innen und aufsen mit heifsem Theer, meist Steinkohlentheer, überzogen.

Seit dem Jahre 1840 ist von dieser Oxydation der gufseisernen Röhren beinahe gar nicht mehr die Rede gewesen, es scheint daher, dafs jene sehr besorglichen Erfahrungen in Grenoble entweder durch locale Verhältnisse herbeigeführt wurden, oder vielleicht auch die starke Abnahme des Wassers von andern Ursachen herrührte, und man dieselbe nur irrthümlich der Verengung der Röhren zugeschrieben hatte.

---

*) In den *Annales des ponts et chaussées* aus jener Zeit befinden sich mehrere Aufsätze über diesen Gegenstand, besonders wichtig ist der kurze Auszug verschiedener Memoiren von Payen im Jahrgange 1837. II. S. 358.

§. 23.
Versorgung groſser Städte mit Wasser.

Bei der Versorgung gröſserer Städte bezieht sich das nächste Bedürfniſs auf diejenige Wassermenge, welche zum Trinken und zur Bereitung der Speisen gebraucht wird. Dieses Wasser muſs nicht nur klar, sondern auch rein und wenigstens von schädlichen und solchen Stoffen frei sein, die sich durch unangenehmen Geschmack oder Geruch zu erkennen geben. In geringerem Grade fordert man dasselbe auch von demjenigen Wasser, welches zur Reinigung der Wäsche, der Wohnungen und zu ähnlichen Zwecken benutzt wird. Endlich aber pflegt man bei Anlage von Wasserleitungen auch auf andere Bedürfnisse, wie die Spülung der Straſsen, die Speisung von Springbrunnen, Feuerspritzen und dergleichen Rücksicht zu nehmen, wobei die Reinheit des Wassers weniger nöthig ist. Man kann indessen ohne groſse Vermehrung der Anlage- und Betriebskosten das für diese verschiedenen Zwecke bestimmte Wasser nicht füglich trennen, und sonach pflegt man die Leitungen überhaupt nur mit reinem Wasser zu speisen. In manchen Fällen kommen nur die ersten der benannten Zwecke in Betracht, und namentlich giebt es in England eine groſse Anzahl von Anlagen dieser Art, welche das Wasser nur in Privathäuser leiten. Hiernach stellt sich der Bedarf einer Stadt, wenn man die Einwohnerzahl als Maaſsstab wählt, sehr verschieden heraus. Als der Ourcq-Canal angelegt wurde, nahm man an, daſs jeder Einwohner von Paris täglich nur 5 Liter oder $\frac{1}{6}$ Cubikfuſs gebrauche, man überzeugte sich aber später, daſs dieses nicht genüge, und nahm den persönlichen Bedarf auf $\frac{1}{1000}$ Wasserzoll, oder $\frac{5}{9}$ Cubikfuſs täglich an. Wenn aber zugleich die öffentlichen Zwecke berücksichtigt werden, so braucht man ein bedeutend gröſseres Wasserquantum. Ueber die Ergiebigkeit der Wasserleitungen in gröſseren Städten enthalten die technischen Schriften zwar sehr zahlreiche Mittheilungen, diese weichen indessen so sehr von einander ab, daſs es unmöglich ist, allgemein gültige Resultate daraus zu ziehn. Zum Theil rührt dieses davon her, daſs nach der ersten Einrichtung das Bedürfniſs sich fortwährend steigert und dadurch eine Erweiterung der Anlage nothwendig wird. Auſserdem stellt sich das Verhältniſs der geho-

benen Wassermenge zur Einwohnerzahl auch ganz anders, je nachdem die Vorstädte und die von minder wohlhabenden Familien bewohnten Stadttheile mit berücksichtigt werden, oder nicht. Endlich ist die Wasserversorgung gewöhnlich ein Aktien-Unternehmen und die Angaben, die beim Besuche der Anstalt mitgetheilt werden, sind häufig mehr als zweifelhaft, sowie man auch aus der augenblicklichen Wirksamkeit der Pumpen nicht auf ihre durchschnittliche Leistung schliefsen kann.

Die nachstehenden Zahlen, welche das auf jeden Einwohner täglich treffende Wasserquantum bezeichnen, sind aus neuern Publicationen entlehnt und dürften wenigstens zeigen, wie verschiedenartig das Bedürfnifs angenommen und befriedigt wird:

Berlin . . .	3,2	Cubikfufs
Hamburg . .	3,0	-
Brüssel . . .	2,6	-
Paris . . .	2,7	-
Bordeaux . .	5,6	-
Marseille . .	6,0	-
Toulouse . .	2,5	-
Lyon . . .	2,7	-
Dijon . . .	7,7	-
London . . .	4,6	-
Manchester .	2,9	-
Liverpool . .	4,1	-
Glasgow . .	3,2	-

Es mag gleich bemerkt werden, dafs in gröfsern Städten etwa die Hälfte des ganzen Wasserquantums an Privat-Personen verkauft wird, wovon jedoch nur ein Theil auf die eigentlichen ökonomischen Bedürfnisse trifft, während für Bäder, zum Begiefsen der Gärten und dergleichen oft die bei Weitem gröfste Hälfte verwendet wird. Den vierten Theil der ganzen gehobenen Wassermasse nimmt das Sprengen und Spülen der Strafsen in Anspruch, und das letzte Viertel vertheilt sich auf gröfsere industrielle Etablissements mit Einschlufs der öffentlichen Bäder, auf die Verwendung beim Feuerlöschen und beim Reinigen der öffentlichen Abtritte, auf Springbrunnen u. dgl., während die unterirdischen Abzugscanäle gemeinhin schon durch das Wasser hinreichende Spülung erhalten, also nur ausnahmsweise berücksichtigt werden dürfen.

Bei jedem Projecte zu einer Wasserleitung mufs man ein bestimmtes Quantum zum Grunde legen, weil hiervon die Weite der Röhrenleitungen und aller damit in Verbindung stehenden Anlagen abhängt. Dieses Quantum kann aber, wie bereits früher bemerkt ist, entweder durch Abfangung von Quellen mit Benutzung ihrer natürlichen Höhenlage, oder aus tiefer liegenden Strombetten und sonstigen Wasserbecken mittelst Pumpen gewonnen werden, und es ergiebt sich schon aus der vorstehenden Mittheilung über die Verwendung des Wassers, dafs in der heifsen Jahreszeit und namentlich bei anhaltender Dürre der Verbrauch ohne Vergleich viel gröfser ist, als zu andrer Zeit. Dieser mufs aber der Rechnung allein zum Grunde gelegt werden, denn die Anlage ist ganz verfehlt, wenn sie während der Dürre dem Bedürfnifs nicht entspricht. Es ist daher sehr bedenklich, eine gröfsere Leitung durch Quellen zu speisen, deren Reichhaltigkeit im umgekehrten Verhältnisse zum Bedürfnisse steht, und wenn bei der ersten Anlage letzteres auch noch zu befriedigen scheint, so darf man doch die Steigerung des Bedürfnisses nicht unbeachtet lassen, und es ist daher im Allgemeinen stets vorzuziehn, das Wasser aus einem gröfseren Flusse zu entnehmen, dessen Reichthum unter allen Verhältnissen genügt. Es mufs hier erwähnt werden, dafs man bei den Projecten zur Versorgung von Wien auch Quellen berücksichtigt hat, die in den Schneebergen des Wiener Waldes bei Gloggnitz entspringen, deren Ergiebigkeit also gerade in der gröfsten Hitze sich steigert. *)

Jedenfalls mufs das Wasser beim Eintritt in die Leitung sich in solcher Höhe befinden, dafs es nach allen Plätzen und Strafsen, die man damit versorgen will, fliefsen kann. Oft ist behufs der Klärung oder der Ansammlung des Wassers die Anlage von grofsen Reservoiren nothwendig, in andern Fällen fehlt eine solche Veranlassung, und namentlich geschieht dieses, wenn durch Pumpen das Wasser gehoben wird. Es entsteht alsdann die Frage, ob man Reservoire anlegen mufs, oder ob man sie entbehren kann. Beides kommt vor. So sammelt sich in Paris das Wasser, welches die Maschine Chaillot hebt, in grofsen Bassins auf der ohnfern belegenen Anhöhe, die gegenüberliegende Maschine Gros-Caillou dagegen hat

*) Bericht über die Erhebungen der Wasser-Versorgungs-Commission. Wien 1864.

kein solches Bassin und giefst das gehobene Wasser unmittelbar in die Leitungsröhren. Das letzte geschieht auch bei dem Pumpwerke zu Toulouse, und in England findet man gleichfalls Beispiele von der einen und der andern Anordnung. Es ist nicht zu leugnen, dafs grofse Speisebassins manche wesentliche Vortheile gewähren, sie gestatten, die Maschinen einige Zeit hindurch aufser Dienst zu setzen und die nöthigen Reparaturen daran vorzunehmen, ohne dafs die Wasserleitung zu wirken aufhört, und man kann auch, wenn das Bedürfnifs auf einige Zeit in hohem Grade gesteigert wird, wie etwa bei einem Brande, das Wasserquantum weit über die gewöhnliche Ergiebigkeit der Pumpen vermehren. Dagegen ist die Anlage solcher hochgelegenen Speisebassins häufig überaus schwierig und zuweilen ganz unmöglich, da man sie auf eine natürliche Anhöhe stellen mufs. Wenn aber hierzu die Gelegenheit sich auch wirklich bietet, so ist im Innern oder neben grofsen Städten ein solcher Platz wegen der bereits davon gemachten anderweitigen Benutzung nur für einen unverhältnifsmäfsig hohen Preis zu erstehn. Demnächst darf das Wasser durch die Schöpfmaschinen auch nicht zu hoch gehoben werden, wodurch ein überflüssiger Kraftaufwand und eine entsprechende Kostenverschwendung veranlafst würde. Bei verschiedener Höhenlage der einzelnen Theile der Stadt, welche durch dieselbe Maschine gespeist werden sollen, darf man also nicht alles Wasser in hochgelegene Bassins heben, wollte man aber die Bassins in verschiedene Höhen legen, so würde dieses Verfahren wieder zu kostbar ausfallen, auch giebt es wohl kein Beispiel einer solchen Anordnung. In diesem Falle erbaut man daher keine Bassins, vielmehr läfst man die Pumpe das Wasser unmittelbar in die Leitungsröhren treiben und nur diejenige Kraft entwickeln, welche nöthig ist, um eine oder die andere Leitung, oder gleichzeitig mehrere in Thätigkeit zu setzen.

Die öffentlichen Brunnen, die für die sämmtlichen Einwohner eines Ortes besonders wichtig sind, sind gewöhnlich dauernd im Gange, wenn sie aber nur durch einen geringen Zuflufs gespeist werden, so pflegt man sie mit Ventilen zu schliefsen, und sobald jemand sie benutzen will, hebt er diese mittelst der Schwengel, worauf der Ausflufs erfolgt. Der Ausgufs der Brunnen befindet sich in der Regel in solcher Höhe über dem Strafsenpflaster oder über dem Trottoir, dafs man einen Eimer darunter stellen kann. Eine

gröſsere Höhe würde eine unnütze Vergröſserung der Druckhöhe zur Folge haben und die Fuſsgänger belästigen. Zuweilen verwandelt man diese Brunnen in Springbrunnen, die zur Zierde öffentlicher Plätze dienen. Am groſsartigsten wird eine solche Anlage, wenn die ganze Wassermenge, welche zur Speisung eines Stadttheiles bestimmt ist, auf einem erhöhten Platze in demselben ausgegossen und mit Ausnahme einiger Strahlen, die dem Publikum sogleich überlassen werden; in einem Bassin gesammelt wird, aus dem sie in einzelnen Röhren nach den verschiedenen Straſsen des Stadttheiles flieſst. Girard hat auf solche Art die Fontaine auf dem Boulevard de Bondy gespeist. Es findet sich indessen hierzu nicht leicht Gelegenheit.

Aus den flieſsenden Brunnen ergieſst sich das Wasser in die Rinnen der Straſsen, und wenn es diese auch nicht vollständig reinigt, dieselben vielmehr noch gefegt werden müssen, so verhindert die Strömung doch die Fäulniſs und schädliche Ausdünstung des darin abgelagerten Schmutzes.

In Bezug auf die Anordnung der Leitungen ist Folgendes zu erwähnen. Zunächst muſs man auf einen Situationsplan von dem ganzen Districte die sämmtlichen zu versorgenden öffentlichen und Privathäuser, die Brunnen und sonstigen Ausflüsse eintragen und nach bewirkter Reduction auf einen gemeinschaftlichen Horizont die Höhe bezeichnen, in welcher jeder Ausfluſs erfolgen soll. Wenn eine Tabelle noch die Wassermengen aller Brunnen und Ausflüsse nachweist, so hat man alle Data, um die passenden Gruppirungen zu machen und das Project im Allgemeinen aufzustellen. Besonders wichtig ist dabei eine zweckmäſsige Vertheilung der Haupt-Leitungen. Man muſs gewisse Vertheilungspunkte aufsuchen, von denen aus man die Umgebungen bequem speisen kann, und diese Punkte müssen entweder von der Hauptleitunng oder von den Zweigröhren der ersten Ordnung berührt werden. Die Anordnung wird aber so getroffen, daſs alle Leitungen, welche Theilungspunkte speisen, möglichst gerade geführt werden und leicht zugänglich sind, auch soviel es geschehn kann, ein gleichmäſsiges Gefälle erhalten. Die einzelnen Theile der Zwischenleitung können zwar innerhalb gewisser Grenzen sich senken oder ansteigen, doch bleiben sie meist unter dem Niveau des nächst vorhergehenden Theilungspunktes. Diese Theilungspunkte selbst müssen, soviel wie möglich, eine ihrer Entfernung ent-

sprechende Abstufung in der Höhe erhalten. Es ist aber weniger vortheilhaft, die Theilung der Wassermenge durch unmittelbare Spaltung des Röhrenstranges zu bewirken, als vielmehr aus offenen Bassins oder Brunnen die Zweigröhren ausgehn zu lassen. Man erreicht hierbei den Vortheil, dafs solche Brunnen als Schlammkasten und Luftventile wirken, auch wird der nachtheilige Einflufs der veränderten Richtung durch sie umgangen. Ueberdies geben sie Gelegenheit zu einer genauen Controlle über die Ergiebigkeit aller Hauptleitungen, denn sobald eine derselben sich verstopft hat, oder leck geworden ist, so wird sich dieses an dem Wasserstande der beiden nächsten Brunnen zu erkennen geben. Die Einführung eines sehr ungleichförmigen Gefälles in den einzelnen Theilen der Hauptleitung und der Zweigröhren hat aber den Nachtheil, dafs man in derjenigen Strecke, wo die Niveaudifferenz zwischen den nächsten Brunnen im Verhältnifs zur Länge der Leitung sehr geringe ist, besonders weite Röhren benutzen mufs.

Diese Bassins oder Brunnen in den Vertheilungspunkten sind entweder geräumige Reservoire, die grofse Wassermengen fassen, oder gemeinhin nur gufseiserne Cylinder von 2 bis 3 Fufs Durchmesser, aus denen die Zweigröhren abgehen. Beide werden in der Regel über dem Niveau der Strafsen, also in kleinen Gebäuden oder auf Unterbauen angelegt, weil man sonst keine fliefsenden Brunnen erhalten würde. Von den gröfsern Reservoiren mufs man indessen oft absehn, weil dieselben die dem Drucke entsprechende Höhe nicht erhalten können, die kleineren Cylinder lassen sich dagegen bequem schliefsen, wenn sie auch selbst unter dem Niveau der Strafsen liegen, während der Druck so grofs ist, dafs das Wasser zu den dritten Stockwerken und darüber ansteigt. Kleine Ableitungen kann man, wo es nöthig ist, auch durch die Hauptröhren unmittelbar speisen, um nicht von dem nächsten Vertheilungspunkte aus einen längeren Strang dahin führen zu dürfen, im Allgemeinen ist es aber vortheilhaft, von einem Vertheilungspunkte bis zum nächsten keine Verminderung der Wassermenge eintreten zu lassen, weil nur in diesem Falle die Beibehaltung derselben Röhrenweite sich rechtfertigt. Dabei darf jedoch nicht unbeachtet bleiben, dafs die letzten Verzweigungen schon aus andern Gründen eine überflüssige Weite zu erhalten pflegen.

Hat man auf diese Art die Lage der sämmtlichen Vertheilungs-

punkte und den Zug derjenigen Röhren bestimmt, wodurch sie gespeist werden, so kann man nach den in §. 16 gegebenen Formeln die nöthigen Weiten der Röhren berechnen. Man kennt nämlich die Länge jeder einzelnen Strecke, das daselbst stattfindende absolute Gefälle und die Wassermenge, man thut aber wohl, wenn man, wie bereits erwähnt, letztere noch etwa um die Hälfte gröfser annimmt, als sie wirklich ist, man sichert sich dadurch theils die Möglichkeit, bei steigendem Bedürfnisse, der Leitung eine gröfsere Ausdehnung zu geben, theils aber werden alsdann auch die zufälligen Verengungen der Röhre nicht so nachtheilig, und jedenfalls kann man durch die Hähne oder Schiebeventile, die jeder Theil der Leitung erhalten mufs, das durchfliefsende Wasserquantum beliebig vermindern, während man kein Mittel besitzt, es zu vergröfsern, wenn die Röhren zu enge sind. Die letzten Zweigröhren müssen aber eine solche Weite behalten, dafs sie bei einem entstehenden Brande den Wasserbedarf zur Versorgung mehrerer Spritzen mit Sicherheit liefern. Endlich ist noch zu bemerken, dafs man in dem ersten Theile der Leitung, durch welchen die ganze Wassermenge geführt wird, doppelte Röhren zu legen pflegt, um bei einer zufälligen Beschädigung nicht die ganze Anlage aufser Thätigkeit setzen zu dürfen. Wenn aber besondere Hauptröhren nach den verschiedenen Stadttheilen geführt sind, so pflegt man die einzelnen Systeme unter sich in Verbindung zu setzen, damit wenn eins derselben nicht im Betriebe ist, dennoch eine nothdürftige Versorgung der betreffenden Strafsen möglich bleibt.

In der beschriebenen Art ermittelt man die verschiedenen Weiten, welche die Röhren haben müssen, und um die Anzahl der nöthigen Formstücke nicht zu sehr zu vermehren, so beschränkt man die berechneten Halbmesser auf eine gewisse geringe Anzahl. D'Aubuisson benutzte bei der Wasserleitung zu Toulouse nur neun Arten von Röhren, nämlich in den Weiten von 10,3 — 7,3 — 6,1 — 4,6 — 3,8 — 3,4 — 3,0 — 2,7 und 1,9 Zoll.

In eigenthümlicher Weise ist in Paris die Wasserleitung angeordnet, welche durch den Ourcq-Canal gespeist wird. Dieser Canal mündet nämlich in das geräumige Bassin la Villette zwischen den Thoren la Villette und Pantin am nordöstlichen Rande von Paris. Von hier wird das Wasser, wie bereits erwähnt, abgeleitet, doch tritt es bald darauf in einen unterirdischen überwölbten Canal, den

Aqueduc de Ceinture, in welchem es etwa eine halbe Meile weit längs dem nördlichen hohen Ufer des Seine-Thales fliefst. Auf solche Art gelangt das Wasser in mannigfaltigen Krümmungen bis nahe an das Thor de Mouceaux. Fig. 110*a* zeigt das Profil des Aqueduc de Ceinture. Derselbe ist so geräumig, dafs man mit einem kleinen Nachen darin fahren kann, und ein Gang an der Seite erlaubt auch, zu Fufs die ganze Gallerie zu begehn. An vielen Stellen hat man dem Lichte und der Luft freien Zutritt verschafft, und mehrere Treppen führen herab, damit man mit Leichtigkeit zu den einzelnen Stellen gelangen kann. Auffallend ist es, dafs man diesem Canale in seiner Sohle gar kein Gefälle gegeben hat. Sieben Röhrenleitungen schöpfen darin das Wasser und führen es in andern Gallerien nach dem tiefer liegenden Theile der Stadt. Die gröfste unter diesen ist die Galérie Saint Laurent, worin vier Röhrenstränge neben einander liegen. Fig. 110*c* zeigt ihr Profil und Fig. 110*b* das Profil des kleinen Gebäudes, worin diese Röhren aus dem Canale treten. *)

Die Reservoire oder Bassins dienen entweder nur zur Ansammlung des Wassers, oder sie haben noch den Zweck, öffentliche Plätze zu verzieren und sind in diesem Falle häufig mit Springbrunnen verbunden. Vollkommene Wasserdichtigkeit ist bei ihnen jederzeit die Hauptbedingung, und um diese zu erreichen, pflegt man sie in der ganzen vom Wasser benetzten Oberfläche mit Cement zu überziehn. Demnächst giebt man ihrem Boden einige Neigung und an der tiefsten Stelle befindet sich eine Ausflufsöffnung, die gewöhnlich durch ein Ventil geschlossen ist. In dieser Art sind die Reservoire im Green Park zu London, worin das Wasser der Chelsea-Leitung gesammelt wird, nicht nur mit einer ausgemauerten tiefen Rinne versehn, welche sich in der Längenachse des Bassins hinzieht, sondern aufserdem fällt der Boden von beiden Seiten aus mit der Neigung von $\frac{1}{6}$ nach dieser Rinne ab. Die Bassins sind 640 Fufs lang, 102 Fufs breit und in der Mitte neben der Rinne 14 Fufs tief. Ihr Boden besteht aus einem festen Lehmschlage, worüber ein Pflaster in hydraulischem Mörtel ausgeführt ist.

Wenn die Reservoire geringere Dimensionen haben, so bestehn

*) Eine specielle Beschreibung der Wasserleitungen in Paris, die vom Ourcq-Canale gespeist werden, hat Emmery geliefert. *Annales des ponts et chaussées.* 1840. I. p. 145 ff.

sie aus Gufseisen und namentlich ist dieses bei den erwähnten Cylindern in den Vertheilungspunkten der Wasserleitungen der Fall, doch kommen auch gröfsere Bassins aus demselben Material vor. So giebt es z. B. deren zwei in Liverpool, eines 60 Fufs lang, 15 Fufs breit und 10 Fufs tief und eines 33 Fufs lang, 17 Fufs breit und 7 Fufs tief. Die kleineren Reservoire endlich bestehn häufig aus hölzernen Kasten, die mit Blei gefüttert sind, und besonders benutzt man solche wegen ihres geringen Gewichtes in Gebäuden.

Wenn keine Speisebassins angelegt sind, vielmehr das Wasser aus den Pumpen unmittelbar in die Röhrenleitung tritt, so mufs jedenfalls dafür gesorgt werden, dafs die Stöfse der Pumpe sich nicht weit fortsetzen, wodurch theils die Verbindung der Röhren gelöst, theils die Wirksamkeit der Maschine verringert würde, indem jedesmal eine lange Wassersäule von Neuem in Bewegung gesetzt werden müfste. In vielen Fällen, und besonders wenn der Röhrenstrang nicht lang ist, begegnet man diesem Uebelstande durch Windkessel, die bei jedem Stofse der Pumpe einiges Wasser aufnehmen, und bis zum folgenden Stofse durch den Druck der Luft dieses in die Röhre treiben. Sie veranlassen daher eine ununterbrochene, wenn auch nicht ganz gleichmäfsige Bewegung des Wassers in der Röhre, und vermindern in hohem Grade die Erschütterungen. Dabei zeigt sich indessen ein andrer Uebelstand, besonders wenn das Wasser unter starkem Drucke in der Röhre sich bewegt, nämlich die in gleichem Maafse comprimirte Luft dringt durch die Fugen des Windkessels, derselbe füllt sich daher immer mehr mit Wasser an, und seine Wirksamkeit hört bald ganz auf. Will man demnach nicht in kurzen Zwischenzeiten die Leitung unterbrechen, um den Kessel aufs Neue zu füllen, so mufs die Maschine noch eine Luftpumpe treiben, die entweder dauernd, oder so oft es nöthig ist, den Windkessel mit Luft speist.

Bei vielen Wasserleitungen in England hat man die erwähnten nachtheiligen Stöfse in andrer Weise vermieden. Es wird nämlich ohnfern der Pumpe auf die Leitungsröhre eine sogenannte Standröhre aufgestellt, die aus starken Eisenbleche zusammengesetzt und etwa 2 Fufs weit ist, sich aber so hoch erhebt, dafs das Wasser darin bis zur vollen Druckhöhe ansteigen kann, also der Verschlufs derselben entbehrlich ist. Ist diese Röhre nur einfach, wie häufig der Fall ist, so unterbricht sie nicht die Hauptleitung. Das Wasser dringt bei jedem Stofse der Pumpe in die letztere, aber ein Theil

der zugeführten Wassermenge steigt auch in die Standröhre, erhöht hier die Druckhöhe, und fliefst bis zum folgenden Stofse wieder in die Leitungsröhre ab. Die Wirkung ist daher dieselbe wie die eines Windkessels, doch darf hier für die Füllung mit Luft nicht gesorgt werden. Dabei wird aber noch ein anderer Vortheil erreicht. Aus dem stark geprefsten Wasser entwickelt sich nämlich, besonders in der heifsen Jahreszeit eine bedeutende Menge Gas. In den Windkessel kann dieselbe nicht treten, weil derselbe einer festeren Aufstellung bedarf und daher zur Seite der Leitungsröhre stehn mufs. Diese Luft entweicht aber sehr sicher in die Standröhre, die sonach auch den Zweck der oben beschriebenen Luftröhren versieht.

Nicht selten ist die Standröhre doppelt, oder besteht aus zwei senkrechten Röhren von den angegebenen Dimensionen, die nahe neben einander stehn, und oben durch eine gekrümmte Röhre verbunden wird. In diesem Falle wird die Wasserleitungsröhre durch sie vollständig unterbrochen, und alles Wasser, welches die Pumpe fördert, fliefst durch sie hindurch, steigt also in dem einen Schenkel hinauf, strömt über den Scheitel und fällt im andern Schenkel herab. Eine heberartige Wirkung tritt dabei nicht ein, insofern der höchste Theil der Röhrenwand durchbrochen und mit einer kleinen, stets offenen Ansatzröhre verbunden ist, durch welche die Luft frei ein- und austreten kann. Derjenige Schenkel, in welchem das Wasser herabfliefst, ist nichts andres als ein Speisebassin, worin der Wasserstand freilich etwas schwankt, das aber von den Stöfsen der Pumpe nicht mehr getroffen wird, und worin sich jedesmal diejenige Druckhöhe darstellt, welche nöthig ist, um die ganze zufliefsende Wassermenge in die Leitung zu treiben. Indem das Wasser mit freier Oberfläche den Scheitel der Standröhre überströmt, so wird die Gelegenheit zum Absetzen der Luft vollständig geboten. Ein Uebelstand besteht nur darin, dafs das Wasser immer bis zum Scheitel der Standröhre gehoben werden mufs, wenn auch vielleicht zeitweise nur eine geringere Druckhöhe erforderlich sein sollte.

Bei Versorgung von Privatwohnungen mit Wasser geschieht die Zuleitung gemeinhin in bleiernen, oder gezogenen eisernen Röhren, beide und namentlich die ersteren lassen sich leicht biegen und daher bequem nach jedem Punkte hinführen. Ganz frei dürfen sie aber nicht liegen, weil sie alsdann zu sehr der Gefahr einer zufälligen Beschädigung ausgesetzt wären und beim Froste das darin ent-

haltene Wasser gefrieren könnte. Man versenkt sie daher in die Wände und Fufsböden, und um sie möglichst dem Froste zu entziehn, werden sie mehr in die innern, als die Umfassungswände verlegt, auch pflegt man aus demselben Grunde sie mit Moos und andern schlechten Wärmeleitern zu umgeben, wodurch man zugleich das Beschlagen der Röhren vermeidet, das sonst eintritt, sobald das zugeführte Wasser kälter als die Luft der Zimmer ist. Bei diesen innern Röhren ist jeder Leck besonders nachtheilig, weil dadurch die Wände feucht und die Malereien oder Tapeten verdorben werden. In England, wo die Küchen sich gewöhnlich im Souterrain befinden, sind diese Bedingungen leichter zu erfüllen, und die Schwierigkeiten verschwinden zum Theil ganz, insofern das Wasser gar nicht in die Wohnräume geleitet wird. In Frankreich dagegen und namentlich in Paris, wo in jedem Stockwerke eine und mehrere Haushaltungen sind und die Constructionen im Allgemeinen keine besondere Solidität haben, geben die erwähnten Schwierigkeiten sich oft sehr unangenehm zu erkennen.

Von den Reservoiren, worin die Haushaltungen zuweilen das Wasser sammeln, ist nur zu erwähnen, dafs man dieselben mit einem Schwimmer zu versehn pflegt. Sobald dieser bis zu einer gewissen Höhe sich erhebt, schliefst er das Ventil der Zuflufsröhre und verhindert dadurch das Ueberfliefsen des Reservoirs. Um aber die Wassermenge zu messen, welche in einem Hause oder in einer Wohnung verbraucht wird, werden häufig verschlossene Apparate angebracht, die durch das zufliefsende Wasser in Bewegung gesetzt werden und auf einem Zifferblatte die in der Zwischenzeit seit der letzten Einstellung entnommene Masse erkennen lassen. Der Beamte der Gesellschaft, der allein den Schlüssel zum Apparate führt, stellt dadurch von Zeit zu Zeit das consumirte Quantum fest, und hierdurch bestimmt sich der zu zahlende Kaufpreis.

Wesentlich verschieden ist hiervon die von d'Aubuisson bei den Wasserleitungen in Toulouse eingeführte Methode, wonach den Abnehmern das Quantum, welches sie verlangen, in einem ununterbrochenen feinen Strahle zugeführt wird. Das geringste Maafs, welches verabfolgt wird, sind 2 Hektoliter oder 6¼ Cubikfufs in 24 Stunden, und d'Aubuisson erwähnt, dafs nach den dortigen Erfahrungen solche überaus feine Strahlen ohne Unterbrechung und ohne Aenderung ihrer Stärke drei Monate hindurch flossen. Etwas unsicher scheint

diese Methode indessen zu sein, namentlich da nach derselben Mittheilung das dortige Wasser feine Pflanzenfasern mit sich führt. Aufserdem dürfte die starke Berührung, worin das Wasser mit der Luft gebracht wird, auch leicht ihm die Frische nehmen, die man zu vielen häuslichen Zwecken ungern entbehrt.

In Betreff der Vorsorgung der Häuser mit Wasser mufs noch erwähnt werden, dafs dieselbe in verschiedener Art erfolgen kann. Es werden nämlich entweder die betreffenden Leitungen ununterbrochen gespeist, so dafs man jederzeit Wasser entnehmen kann. Dieses ist der gewöhnliche Fall, doch kommt es in Englischen Städten auch vielfach vor, dafs die Leitungen der einzelnen Strafsen nur während einer bestimmten Tagesstunde in Thätigkeit gesetzt werden, also alsdann der ganze Bedarf angesammelt werden mufs. In solchem Falle bedarf man der gröfsern Bassins, von denen vorstehend die Rede war. Diese Anordnung empfiehlt sich besonders, wenn die zu versorgenden Stadttheile in sehr verschiedenen Höhen liegen.

Was die öffentlichen Brunnen betrifft, so haben dieselben häufig noch den Zweck, die Strafsen und namentlich die Rinnen zu spülen. In Paris läfst man sie in dieser Absicht zweimal des Tages, nämlich um 6 Uhr Morgens und um 12 Uhr Mittags, jedesmal eine Stunde lang fliefsen, während sie nur auf den Märkten und in denjenigen Hallen, wo Fleisch und ähnliche Artikel feil geboten werden, dauernd in Wirksamkeit bleiben. Sie sind vorzugsweise auf den Scheitelpunkten der Strafsen angebracht, dafs heifst da, wo die Rinnen nach beiden Seiten abfallen, und in diesem Falle hat der Brunnen entweder zwei Ausgüsse, oder es ist in andrer Weise dafür gesorgt, dafs das Wasser sich nach beiden Richtungen ziemlich gleichmäfsig vertheilt. Solche fliefsenden Brunnen erleichtern wesentlich die Reinigung der Strafsen, und vermindern den Staub, doch sind sie nur mit Vortheil anzuwenden, wenn das zugeführte Wasser durch unterirdische Abzugscanäle abgeleitet werden kann. Entgegengesetzten Falles können die Rinnen, besonders wenn ihr Gefälle nur mäfsig ist, die zugeführten Wassermengen nicht fassen, oder man müfste sie so erweitern und vertiefen, dafs sie den Verkehr beeinträchtigen, und selbst gefährlich werden. Jedenfalls darf man den Schmutz der Strafsen nicht durch das fliefsende Wasser beseitigen wollen. Hierzu würde ein sehr starkes Gefälle erforderlich sein, und dennoch der Uebelstand hinzutreten, dafs neben ihren Ausmün-

dungen ausgedehnte Ablagerungen in dem Flufsbette entstehen, die nicht nur der Schifffahrt hinderlich, sondern auch den Umwohnenden lästig und schädlich wären. Sowol in England, als in Frankreich wird der Kehricht der Strafsen abgefahren, und nur das Wasser fliefst in die Canäle. Die Mängel der Strafsenreinigung in Paris, wo fliefsende Brunnen und Abzugscanäle vorhanden sind, hat Génieys und später Emmery in einem sehr interessanten Aufsatze über fliefsende Brunnen und Abzugscanäle entwickelt.*) Eine andere Mittheilung von Mougey über denselben Gegenstand**) zeigt aber unter Angabe wichtiger Thatsachen, dafs auch in den englischen und schottischen Städten gleichfalls Vieles noch zu wünschen bleibt. Aus beiden Aufsätzen ist ein grofser Theil der folgenden Notizen entnommen.

Die Wassermenge, welche ein fliefsender Brunnen liefern mufs, um die Spülung der Rinne zu bewirken, ist von so vielen Umständen abhängig, dafs man ein allgemein gültiges Maafs dafür nicht angeben kann. D'Aubuisson hat in Toulouse dasselbe bis auf einen Wasserzoll ($\frac{3}{7}$ Cubikfufs in der Minute) ermäfsigt, doch sind diese Brunnen in ununterbrochener Wirksamkeit, und liegen mitunter sehr nahe nebeneinander, so dafs sie sich gegenseitig verstärken, und besonders ist dieses in denjenigen Strafsen der Fall, wo der lebhafteste Verkehr stattfindet. Die Wassermenge, welche die Brunnen in Paris geben, scheint viel gröfser zu sein, was auch nöthig ist, da sie nicht fortwährend fliefsen, also der Niederschlag, der sich in der Zwischenzeit festgesetzt hat, durch die Strömung wieder gelockert werden mufs. Emmery nimmt die Wassermenge eines fliefsenden Brunnens in Paris zu 8 Wasserzoll oder $3\frac{1}{4}$ Cubikfufs in der Minute an.

Was die sonstige Einrichtung dieser Brunnen betrifft, so dürfen sie die Strafsen nicht beengen und die Trottoirs weder unter Wasser setzen und im Winter mit Eis bedecken, noch auch dürfen sie so stark spritzen, dafs die Fufsgänger benetzt werden. Die älteren fliefsenden Brunnen in Paris sind von den erwähnten Uebelständen keineswegs frei, und es kommt namentlich in der Strafse

---

*) *Egouts et bornes fontaines par Emmery. Annales des ponts et chaussées* 1834. *I. p.* 241.

**) *Notice sur les égouts de Londres, de Liverpool et d'Edinbourg par Mougey. Annales des ponts et chaussées* 1838. *II. p.* 129.

St. Denis vor, dafs man, um die Bildung des Eises auf den Trottoirs zu vermeiden, im Winter während die Brunnen fliefsen, noch hölzerne Rinnen auslegt, die das Wasser bis zu den gepflasterten Rinnen neben dem Damme führen, wodurch die Benutzung der Trottoirs sehr erschwert wird. Man hat zur Beseitigung dieser grofsen Unbequemlichkeit den Versuch gemacht, die Brunnen an den äufsern Rand der Trottoirs zu stellen, so dafs sie das Wasser unmittelbar in die gepflasterten Rinnen giefsen, allein in diesem Falle verengen sie wieder den Fahrdamm und werden von den vorüberfahrenden Wagen beschädigt. Génieys schlägt dagegen vor, das Wasser gar nicht über das Niveau des Trottoirs treten zu lassen, sondern es unter den Trottoirplatten, die aus Gufseisen bestehn, in einen überdeckten Canal zu leiten, der am Rande des Fahrdammes ausmündet. Diese Einrichtung beseitigt zwar vollständig die benannten Uebelstände, aber sie vereitelt auch zugleich einen wesentlichen Zweck dieser Brunnen, nämlich das Auffangen des Wassers in Gefäfsen. Am zweckmäfsigsten erscheint demnach die in Fig. 113 dargestellte Anordnung der Brunnen, die in neuerer Zeit in Paris auch vorzugsweise gewählt wird. Der Brunnen, den *a* in der Ansicht von vorn, *b* im Durchschnitte und *c* im Grundrisse zeigt, besteht in einem gufseisernen Kasten, der möglichst nahe an den Häusern steht, und durch zwei Abweise-Steine von beiden Seiten gegen Beschädigungen geschützt wird. Die Ausgufsröhre, die senkrecht abwärts gerichtet ist, befindet sich etwa 13 Zoll über dem Trottoir und giebt sonach nur eben Gelegenheit, einen Eimer darunter zu stellen. Sobald das Wasser aber nicht aufgefangen wird, so stürzt es durch einen Rost, dessen Stäbe, um das Spritzen zu vermeiden, oben zugeschärft sind, und fliefst durch eine gufseiserne Rinne unter dem Trottoir nach dem Fahrdamme. Der Hahn, welcher den Ausflufs schliefst, hat die Einrichtung, dafs das Wasser in seine Achse hineintritt, wie Fig. 113 *d* und *e* zeigen. Er kann durch eine Oeffnung in dem obern Boden des Brunnenkastens gedreht werden, wenn man aber diesen Boden oder Deckel abhebt und die beiden durch Splinte gehaltenen Klammern herausnimmt, so kann man den abwärts gekehrten Theil des Ausgufsrohres abschrauben und einen Schlauch, der ein passendes Schraubengewinde hat, daran befestigen. Auf solche Art lassen sich durch diese Brunnen auch die Feuerspritzen unmittelbar speisen.

Aufser den erwähnten Brunnen haben die Leitungsröhren auch

an den Stellen, wo sie unter dem Strafsenpflaster liegen, noch in gewissen Entfernungen kurze, aufwärts gerichtete und mit Hähnen und Schraubengewinden versehene Ansatzröhren, woran die Schläuche gleichfalls befestigt werden können. Gewöhnlich wird über diesen Hähnen das Strafsenpflaster unterbrochen, indem ein Rahmen von Holz oder Stein darüber liegt und die Oeffnung in demselben mit einer gufseisernen Platte geschlossen ist. Diese Platte ist in der Mitte mit einer kleinen, eigenthümlich geformten Oeffnung für einen Schlüssel versehn, mit dessen Hülfe man sie heben kann. Diese Platten unterbrechen indessen das regelmäfsige Pflaster und wenn sie lange gelegen haben, so werden ihre Oberflächen sehr glatt, und dadurch für den Verkehr störend, aufserdem brechen sie leicht und geben im Winter zu einer starken Abkühlung der Leitung Gelegenheit. Man hat sie daher, mit Rücksicht auf ihren seltenen Gebrauch, häufig ganz entfernt, indem die Röhre auch an der Stelle, wo der Hahn liegt, mit Erde beschüttet und das Pflaster darüber geführt ist. Gewisse Marken an den nächsten Gebäuden weisen aber die Stelle des Hahnes nach, und sobald es bei einem Brande nöthig wird, denselben zu benutzen, so ist in wenigen Minuten das Pflaster aufgebrochen und die darunter liegende Oeffnung aufgegraben.

Häufig ist der Druck in der Leitungsröhre so grofs, dafs man die Spritzen ganz entbehren und aus dem aufgeschrobenen Schlauche unmittelbar einen Strahl bis über die daneben stehenden Gebäude treiben könnte. Man macht jedoch hiervon fast niemals Gebrauch, weil es bei einem Brande gewöhnlich nicht an der nöthigen Mannschaft fehlt, um die Spritzen in Bewegung zu setzen, und es immer vortheilhaft ist, letztere so zu stellen, dafs sie demjenigen Punkte, wohin der Strahl gerichtet ist, möglichst nahe sind.

In England sind die Wasserleitungen jedesmal Privatunternehmungen, öffentliche Brunnen werden durch sie nicht gespeist, so wie überhaupt kein Wasser unentgeltlich verabfolgt wird. Das zur Reinigung der Strafsen erforderliche Wasser wird meist nicht unmittelbar aus den Leitungen entnommen, vielmehr dient hierzu das in den Reservoiren der einzelnen Wohnungen noch vorhandene Wasser, die vor der neuen Füllung sämmtlich entleert werden, und dadurch bedeutende Massen den Strafsenrinnen zuführen.

Will man die Strafsen benetzen, oder besprengen, was in Städten zur Verminderung des Staubes nothwendig ist, so werden

dazu die oben beschriebenen Feuer-Hähne benutzt, die in diesem Falle aber leicht zugänglich sein müssen. Man schraubt auf dieselbe Schläuche auf, und zum Theil genügt schon der Wasserdruck in den Leitungsröhren, um die Sprengung zu bewirken, häufig mufs man jedoch zu diesem Zwecke Wasserkarren benutzen, die eine grofse Anzahl Strahlen dicht über der Strafse ausfliefsen lassen.

Bei Gelegenheit der Wasserleitungen in gröfseren Städten sind endlich noch die verdeckten Abzugscanäle oder Siele zu erwähnen, welche theils das Regenwasser, theils aber auch das unreine Wasser aus den offenen Rinnen aufnehmen und beides nach dem Flusse führen. Sie verhindern sonach bei heftigem Regen eine starke Ansammlung des Wassers, doch tragen sie gemeinhin auch noch auf andere Art wesentlich zur Reinhaltung der Strafsen bei, indem nicht nur unreines Wasser, sondern auch eine Menge Schmutz in sie hineingeleitet wird. Sie gewähren den Einwohnern eine grofse Bequemlichkeit, namentlich wenn die Kothgruben der Abtritte mit ihnen in Verbindung gesetzt werden dürfen, wie dieses in neuerer Zeit in London der Fall ist und wie grofsentheils auch in Paris geschieht. Die daraus hervorgehende Verunreinigung des Flusses ist freilich ein grofser Uebelstand, der jedoch in gleichem Maafse sich überall zeigt, wo das unmittelbare Einwerfen des Schmutzes in den Flufs gestattet ist.

Solche Abzugscanäle kommen in den meisten gröfseren Städten in Frankreich und Grofsbritannien vor, doch wo sie aus älterer Zeit herrühren sind sie gewöhnlich nur nach dem nächsten Bedürfnisse und ohne gehörige Rücksicht auf eine angemessene Vertheilung des Gefälles angelegt, woher sie in vielen Fällen denjenigen Effect nicht zeigen, den sie bei einer passenderen Anordnung haben könnten. In Deutschland sind sie seltener. Dagegen waren sie schon in früherer Zeit bekannt. Die Cloaken in Rom sind wegen ihrer Ausdehnung und grofsen Dimensionen noch jetzt unübertroffen. Sehr ausführliche Nachrichten über die verdeckten Abzugs-Canäle in einigen Deutschen, sowie in Französischen und namentlich in Englischen Städten wurden gesammelt, als man Berlin in gleicher Weise entwässern wollte. Indem ich auf den betreffenden Bericht verweise*), beschränke ich

*) E. Wiebe, die Reinigung und Entwässerung der Stadt Berlin. Berlin 1861.

mich nachstehend auf eine kurze Andeutung der wesentlichsten Punkte, die bei Anlagen dieser Art zu berücksichtigen sind.

Vorzugsweise ist darauf zu achten, dafs die Canäle durch die Stoffe, welche sie abführen, nicht verstopft werden. In dieser Beziehung ist es zunächst nöthig, ihnen ein hinreichendes Gefälle zu geben. So mufs in London in dem Districte zunächst Westminster das Gefälle wenigstens $\frac{1}{96}$ betragen, in dem Districte Holborn und Finsbury wenigstens $\frac{1}{144}$, und die Commissarien, welche diese Bauten controlliren, empfehlen besonders das Gefälle von $\frac{1}{48}$. Die ausgedehnten Abzugscanäle in Edinburgh haben zum Theil viel stärkere Gefälle, sogar bis auf $\frac{1}{7}$, und man betrachtet diejenigen als besonders vortheilhaft, die zwischen $\frac{1}{60}$ und $\frac{1}{100}$ messen. Es lassen sich indessen da, wo die Stadt in einem fast horizontalen Flufsthale erbaut ist, diese starken Gefälle nicht darstellen, und man mufs alsdann auf andere Art die Reinigung zu bewirken suchen. In London geschieht dieses durch den verschiedenen Wasserstand in der Themse bei Fluth und Ebbe. Man läfst nämlich das Hochwasser in die Abzugscanäle treten und hält dasselbe bis zur niedrigsten Ebbe darin zurück. Werden sie alsdann geöffnet, so stürzt das Wasser mit Heftigkeit heraus und der starke Strom spült den Niederschlag fort. Wenn Fluth und Ebbe nicht in den Flufs treten und derselbe überdiefs nur wenige Fufse tiefer liegt als die Stadt, während letztere sich bis zu weiter Entfernung von demselben ausdehnt, so ist es nicht nur unmöglich, die vorerwähnten starken Gefälle darzustellen, sondern man kann selbst sehr schwache den Canälen nicht geben, wenn man nicht das Bassin, worin diese ausmünden, bis unter das Niveau des Flusses senkt. Indem nach manchen Erfahrungen selbst sehr schwache Gefälle, wie von 1 zu 2500 schon zur Abführung des Wassers in passend geformten Canälen genügen, so ist für Berlin vorgeschlagen worden, letztere nach einem Bassin zu führen, dessen Inhalt durch eine Dampfmaschine in die Spree gepumpt wird.

Die Abzugscanäle erhalten in England fast immer solche Dimensionen, dafs sie bequem begangen werden können. Fig. 114 zeigt zwei Profile derselben, nämlich *a* ist das für den Westminster-District vorgeschriebene Profil, sobald der Canal mehr als eine Strafse reinigen soll und *b* dasjenige für den District Holborn und Finsbury. In Paris mufste die Reinigung dieser Canäle namentlich in der Nähe der Seine häufig durch Handarbeit vorgenommen werden. Die grös-

seren hatten daselbst das Fig. 115 dargestellte Profil, doch giebt es auch viele kleinere, die nur 1 Meter oder 3 Fufs 2 Zoll hoch sind, deren Reinigung aber theils wegen der geringen Höhe, und theils wegen des Mangels an frischer Luft sehr beschwerlich ist. In neuster Zeit sind die Abzugs-Canäle in Paris wesentlich erweitert, auch ist für ihre Reinhaltung mehr gesorgt worden.

Wichtig ist die Art der Zuleitung des Wassers in diese Canäle, und zwar ebensowol von den Strafsen aus, als aus dem Innern der Häuser. Gewöhnlich ergiefsen sich die gepflasterten Rinnen durch gufseiserne Roste in sie. Ein solcher Rost, wie er in England üblich ist, ist Fig. 116*a* in der Ansicht von oben und *b* im Durchschnitte dargestellt. Er bildet oben eine concave Fläche, welche der Sohle der Rinne entspricht, und ruht auf einem Rahmen von Werkstücken. Zuweilen läfst man auch das Wasser nicht unmittelbar in die Abzugscanäle, sondern wie Fig. 117*a* und *b* im Grundrisse und im Durchschnitte zeigt, in Schlammkasten treten, worin die schweren Stoffe niederschlagen und woraus nur das reinere Wasser abfliefst. Diese Anordnung kommt jedoch nicht häufig vor, sie hat auch den Nachtheil, dafs die Reinigung der Schlammkasten für die Nachbarschaft höchst unangenehm ist, und gerade denjenigen Uebelstand herbeiführt, den man vorzugsweise vermeiden will. Fig. 118 zeigt die in Paris gewöhnliche Zuleitung des Wassers, wobei gleichfalls der Rost angewendet ist. Derselbe ruht zunächst auf einem hölzernen Rahmen, und dieser liegt auf einem grofsen quadratisch bearbeiteten Werkstücke, welches mit einer dem Roste entsprechenden Oeffnung versehn ist. Das Strafsenpflaster ist ringsum angeschlossen, und giebt der Rostplatte die nöthige Haltung. Es ereignet sich indessen häufig, dafs die Oeffnungen im Roste durch Stroh und andere vom Wasser herbeigeführte Körper verstopft werden. In dieser Beziehung giebt man den breiten Einmündungen unter den Trottoirs den Vorzug, wie eine solche Fig. 119*a* und *b* in der Ansicht und im Durchschnitte gezeichnet ist. Die im Trottoir liegende gufseiserne Platte ist ganz geschlossen, und das Wasser ergiefst sich neben ihr zur Seite der sehr flachen Strafsenrinne in den Canal.

Die Abzugscanäle liegen gemeinhin in der Mitte der Strafse, doch sind sie zuweilen auch unter den Trottoirplatten angebracht, besonders, wenn sie nicht tief sind. In den englischen Städten kommt

das Letzte nicht leicht vor, denn das Trottoir wird als Theil des Hauses betrachtet, und der Raum darunter ist Keller, der zur Aufbewahrung der Kohlen benutzt wird. Ueberdies liegen die Canäle hier so tief, dafs ihre Sohle sich mindestens 4 Fufs unter dem gepflasterten Boden des Souterrains befindet. Man entfernt dadurch jede Gefahr eines Durchsickerns in die Souterrains und braucht keine besondere Vorsicht auf die Wasserdichtigkeit der Canäle zu verwenden.

Wegen der tiefen Lage sind diese Abzugscanäle nicht so leicht zu öffnen, als wenn sie nur durch die Trottoirplatten bedeckt wären, und man mufs daher für die nöthige Anzahl von Einsteigeöffnungen sorgen. In London finden sich solche wirklich in Entfernungen von durchschnittlich 15 Ruthen, und sie werden gebildet durch gemauerte Schachte, die an der Seite des Canales herabgeführt und durch Gallerien mit ihm verbunden sind. Gufseiserne oder Steinplatten, die meist im Trottoir liegen, verschliefsen die obern Mündungen dieser Oeffnungen. Wenn die Abzugscanäle sich nicht unter den Strafsenrinnen hinziehn, so kann man das Wasser auch nicht unmittelbar hineinleiten, bei gröfserer Breite derselben vermeidet man es auch gern, in den gewölbten Decken Oeffnungen anzubringen. Die gemauerte Abfallröhre wird alsdann schräge herabgeführt und mündet von der Seite und zwar in der Höhe von 1 oder 2 Fufs über der Sohle. In Paris hat man in diesem Falle auch gufseiserne Abfallröhren von 10 Zoll Weite benutzt. Gewöhnlich erreichen die Abfallröhren von beiden Seiten auf dem kürzesten Wege den Canal, doch zuweilen ist dieses wegen besonderer Umstände nicht möglich, und alsdann kann man sie auch in der Art verbinden, wie Fig. 120 zeigt.

Was die Ableitung des Spülichts aus den Gebäuden in die Abzugscanäle betrifft, so findet bei einer tiefen Lage der letztern in dieser Beziehung keine Schwierigkeit statt. Es wird in den englischen Städten nur darauf gehalten, dafs diese Seitencanäle auch ein gehöriges Gefälle haben und mindestens $1\frac{1}{2}$ Fufs über der Sohle des Hauptcanals ausmünden. Dadurch wird bei einer etwanigen Ansammlung von Schmutz ein Zurücktreten desselben in die sehr engen und daher schwer zu reinigenden Seitencanäle vermieden. Wenn letztere mit Abtritten in Verbindung stehn, so ist diese Vorsicht noch dringender.

Durch die Seitencanäle dringt indessen zuweilen von den Hauptcanälen ein starker Geruch in die Häuser und aufserdem haben sie den Nachtheil, dafs die Ratten, die sich in jenen in grofser Anzahl aufhalten, auch in die Häuser kommen. Um beides zu vermeiden, versieht man die kleinen Zuleitungscanäle an ihren untern Mündungen mit gufseisernen Klappen, die am obern Ende um eine horizontale Achse sich drehen. Sie öffnen sich also nur, wenn das vom Hause aus eingegossene Wasser sie aufstöfst und schliefsen sich darauf von selbst. Dieses Mittel ist indessen sehr unsicher und giebt leicht zu einer vollständigen Verstopfung der Zuleitungsröhre Veranlassung. Vortheilhafter ist dagegen die in Fig. 120 dargestellte Anordnung, welche in England häufig vorkommt. Die Zuleitungsröhre *A* geht nämlich nicht ohne Unterbrechung mit gleichem Gefälle fort, sondern ist an einer Stelle gesenkt, worin also das Wasser zurückgehalten wird, und eine Zunge, die aus einer Steinplatte besteht, tritt von der Decke bis unter das Niveau des hier gesammelten Wassers herab. Dadurch wird die Röhre luftdicht geschlossen und auch die Ratten sollen nicht leicht hindurchgehn. Ein Uebelstand hierbei möchte nur der sein, dafs diese Vertiefungen wie Schlammkasten wirken, und von Zeit zu Zeit geräumt werden müssen. Zur Erklärung der letzten Figur mag noch bemerkt werden, dafs *B* das Trottoir und *C* der darunter befindliche Kohlenkeller ist. *D* ist dagegen ein oben offener Graben, der das Haus von der Strafse trennt, und Gelegenheit giebt, die Küche *E* und die sonstigen Räume des Souterrains zu erleuchten.

Vierter Abschnitt.

Entwässerungen und Bewässerungen.

§. 24.
Vorarbeiten.

Bei der unregelmäfsigen Gestaltung der Erdoberfläche kann es nicht fehlen, dafs das Wasser stellenweise mehr oder weniger zurückgehalten wird, indem nicht überall ein freier Abflufs ihm eröffnet ist. Einzelne tiefe Bassins bleiben als Binnen-Seen dauernd gefüllt, und wo dieses auch nicht geschieht, wird häufig der Boden nie so trocken, dafs er als Ackerland oder auch nur als Wiese benutzt werden könnte. Die Entwässerungen, von denen hier die Rede ist, beziehn sich zuweilen auf den ersten Fall, oder auf die Ablassung von Seen, vorzugsweise aber auf die Trockenlegung von Sümpfen. Letztere bilden meist ebene, beinahe horizontale Flächen. Oft sind sie aus Seen entstanden, welche durch das Material, das Bäche und Flüsse ihnen zuführten, sich nach und nach angefüllt haben. Indem das Wasser, welches darüber fliefst, besonders die vorhandenen Vertiefungen verfolgt, und diesen vorzugsweise neues Material zuführt, so bildet sich von selbst die nahe horizontale Oberfläche aus, die auch bei fernerer Erhöhung sich immer von Neuem wiederherstellt, und eben deshalb einer natürlichen Entwässerung entbehrt. Häufig ist der Untergrund dieser sumpfigen, oder stets mit Wasser bedeckten Ebenen ein an sich fruchtbarer Boden, und alsdann ist der Gewinn bei ihrer Entwässerung oder ihrer Melioration aufserordentlich grofs. Dabei tritt gemeinhin noch eine andre nicht minder wohlthätige Aenderung der Local-Verhältnisse ein. Nicht nur die versumpften Flächen, sondern auch deren nächste Umgebungen waren bisher unbewohnbar oder doch wegen der Ausdünstungen so ungesund, dafs epidemische Krankheiten und namentlich Fieber fast nie in den Familien aufhörten, die sich daselbst niedergelassen hatten. Auch dieses Uebel

verschwindet, sobald das stehende Wasser entfernt und der Boden cultivirt wird. In beiden Beziehungen stehn daher die Meliorationen mit den wichtigsten Interessen der menschlichen Gesellschaft in unmittelbarer Beziehung.

Die Erfolge solcher Anlagen haben vielfach den Erwartungen vollständig entsprochen, wie zahlreiche Beispiele in Deutschland, Frankreich, den Niederlanden und namentlich in Italien zeigen. Nichts desto weniger giebt es wohl kaum irgend welche andre hydrotechnische Ausführungen, die so oft als ganz verfehlt dargestellt werden, wie diese Meliorationen, selbst wenn die günstigsten Veränderungen unverkennbar sind. So war die Fläche von etwa 1 Quadratmeile Inhalt, der Schraden bei Mückenberg ohnfern der Preufsisch-Sächsischen Grenze an der Schwarzen Elster stets mit Wasser bedeckt und das schlechte Gras, welches den einzigen Ertrag lieferte, konnte nur unter Wasser gemäht und in kleinen flachen Kähnen abgefahren werden, während keine Niederlassung darauf bestand. Durch die Melioration hat diese Fläche seit einigen Jahrzehenden sich in culturfähiges Land verwandelt, die fruchtbaren Getreidefelder dehnen sich darauf immer weiter aus, und eine Anzahl Höfe sind darauf entstanden, die durch fahrbare Wege unter sich und mit den höhren Umgebungen in Verbindung stehn, aber dennoch wird das Unternehmen vielfach als ganz mifsglückt dargestellt und sogar behauptet, dafs die dafür verausgabten Kosten durchaus nutzlos verwendet seien. Abgesehn von manchen noch weniger zu billigenden Motiven dürfte das Privat-Interesse vorzugsweise diese eigenthümliche Auffassung veranlassen. Die sehr bedeutenden Kosten solcher Anlagen werden nach Maafsgabe des erwarteten Gewinnes auf die betreffenden Grundbesitzer vertheilt, woher der Einzelne sich bemüht, diesen Gewinn als möglichst geringe darzustellen, und alle Unbequemlichkeiten und Ausgaben, welche die Umgestaltung der Verhältnisse verursacht, als unerträglich zu schildern.

Dazu kommt freilich der Uebelstand, dafs durch die Melioration, welche auf gemeinschaftliche Kosten ausgeführt wird, die Verbesserung nur eingeleitet werden kann, der einzelne Grundbesitzer aber noch vielfache kleinere Anlagen machen mufs, um von dieser den vollen Nutzen zu ziehn. Aufserdem erfordert die wesentliche Aenderung der Bewirthschaftung auch eine Menge neuer Anschaffungen und sonstiger Einrichtungen, und wenn hierzu die nöthigen Mittel

fehlen, der bisherige geringe Ertrag aber aufhört und durch nichts ersetzt wird, so tritt der erwartete Vortheil nicht früher ein, als bis ein wohlhabender und intelligenter Oeconom das Grundstück ankauft.

In vielen Fällen ist der Boden von der Art, dafs durch die Trockenlegung seine Ertragsfähigkeit nicht vermehrt, vielmehr in Jahren, die durch geringe Niederschläge sich auszeichnen, sogar vermindert wird. Bei Aufstellung des ersten Entwässerungs-Projectes für das Thal der obern Lippe entspann sich ein lebhafter Streit über die Frage, ob die Erträge mehr durch den Ueberflufs, oder durch den Mangel an Wasser beeinträchtigt würden. Vielfach ist es daher nothwendig, zugleich mit der Entwässerung auch für Bewässerung zu sorgen.

Demnächst tritt den Meliorations-Anlagen, besonders wenn sie sich auf gröfsere Flächen beziehn, häufig noch die Besorgnifs entgegen, dafs die untern Gegenden dabei leiden. So lange nämlich für die Trockenlegung eines Sumpfes nicht gesorgt ist, so ergiefst sich der Flufs, wenn er anschwillt, in denselben und da das Wasser sich daselbst weit ausbreitet und keinen leichten Abflufs findet, so meint man gewöhnlich, dafs die unterhalb liegenden Flufsthäler zwar längere Zeit hindurch, aber doch weniger hoch inundirt werden, als wenn die nöthigen Abzugsgräben eröffnet sind, durch welche ein schneller Abflufs dargestellt wird. Man hört diese Ansicht oft aussprechen, allein es ist keine Erfahrung nachzuweisen, wodurch sie bestätigt würde. Als dem Chiana-Flusse im Anfange dieses Jahrhunderts ein regelmäfsiger Lauf gegeben und die Entwässerung seines berüchtigten Thales (wovon später die Rede sein soll) vorgenommen wurde, hegte man in Florenz diese Besorgnifs. Es zeigte sich auch wirklich, dafs dieses Thal sonst 10 bis 15 Tage lang die höheren Fluthen zurückhielt, während es dieselben später schon in 2 bis 3 Tagen ablaufen liefs, aber nichts desto weniger haben nach Manetti's und Fossombroni's Mittheilungen seit eben dieser Zeit im Arno nie solche hohe Anschwellungen statt gefunden, wie früher. Der Einflufs der Entwässerung ist also in diesem Falle nicht nachtheilig gewesen. Dasselbe hat sich auch in vielen ähnlichen Fällen gezeigt, und die Erscheinung erklärt sich dadurch, dafs in den gehörig angeordneten und kräftigen Abzugsgräben die Entwässerung weit früher beginnt, und sonach schon vor dem Eintritt der höchsten Anschwellung grofse Wassermassen abgeflossen sind.

Der hohe Wasserstand, den man durch die Entwässerung einer Niederung aus derselben entfernen will, kann entweder durch die ursprüngliche Gestaltung der Erdoberfläche veranlafst sein, wie dieses bei den meisten von der Natur gebildeten Seen der Fall ist, oder er ist eine Folge von künstlichen Anlagen und namentlich von Mühlen, und endlich wird er nicht selten durch die Erhöhung der Flufs- und Bachbetten verursacht. Der letzte Fall verdient eine besondere Erwähnung. Alle Flüsse und Bäche führen nämlich eine Menge Sand und andres Material mit sich, das sie an den Stellen, wo die Strömung mäfsig wird, fallen lassen. Dieses geschieht vorzugsweise zur Zeit des Hochwassers, und wenn später das Wasser fällt und die Kraft des Stromes abnimmt, so wird derselbe durch solche Ablagerungen zurückgehalten, und er mufs davor aufstauen, bis das Wasser die nöthige Druckhöhe erhält, um entweder darüber fortzufliefsen, oder sich ein anderes Bette zu bilden. Am stärksten pflegen diese Ablagerungen in den Krümmungen zu sein. Das Hochwasser verläfst hier das eigentliche Bette und folgt in gerader Richtung dem Flufsthale, wo es aber eine Vertiefung berührt, da läfst es vorzugsweise die Stoffe fallen, die es mit sich führte. So erhöht sich stellenweise das Bette und zwar besonders zur Seite der stärksten Strömung des Hochwassers. Diese Veränderung der Oberfläche des Flufsthales hat wieder Einflufs auf die Strömung. Dieselbe findet bald in einer andern Richtung eine grofse Tiefe vor, und indem sie dieser folgt, so geht die Erhöhung des Bodens hier wieder ebenso vor sich, wie früher an der ersten Stelle. Auf solche Art wächst ein Theil des Thales nach dem andern empor, und es bildet sich eine überraschende Gleichmäfsigkeit in der Ablagerung. Eine dauernde Versumpfung würde demnach in einem Thale, welches hinreichendes Gefälle hat, nicht leicht vorkommen, wenn sie nicht durch künstliche Anlagen herbeigeführt würde. Nur bei einem Boden, der geringen Werth hat, bleibt der Besitzer desselben ein ruhiger Zuschauer der natürlichen Veränderungen des Flufslaufes, sobald aber Ackerbau, oder auch nur eine geregelte Grasnutzung eingeführt ist, so werden die Versandungen sehr nachtheilig. Man verhindert diese, indem man durch Deiche die Aecker und Wiesen abschliefst, und sich bemüht, durch Deckung der Ufer den Flufs in seinem Bette zu erhalten. Auf solche Art wird die regelmäfsige Umformung des Thales unterbrochen. Die der Ueberfluthung ent-

zogenen Flächen können sich nicht weiter erhöhen, und verlieren ihre natürliche Entwässerung, indem das Flufsbette mit den nächsten Umgebungen nach und nach sich erhebt.

Häufig giebt das Zusammentreffen zweier Wasserläufe Veranlassung zur Entstehung der Sümpfe. Wenn ein Bach in einen Flufs mündet und letzterer sein Bette nach und nach erhöht, so schwillt auch der erste in demselben Maafse an, wie der Wasserstand des Flusses am Vereinigungspunkte sich erhebt, und das Thal des Baches verliert die natürliche Entwässerung und verwandelt sich in einen Sumpf, oder einen See. Dasselbe geschieht auch, wenn ein Flufs, der sein Bette stark erhöht, eine natürliche Niederung trifft, die sich nach einer Seite so weit ausdehnt, dafs wegen der grofsen Entfernung von der Hauptrichtung des Flusses die Bildung einer starken Strömung und sonach die natürliche Erhöhung daselbst nicht erfolgen kann.

Endlich werden Versumpfungen auch häufig dadurch erzeugt, dafs die Mündungen der Flüsse und Bäche oder der Seen, die sich in das Meer ergiefsen, nicht offen bleiben. Zwei verschiedene Ursachen bewirken ihre Sperrung. Eines Theils wirft der Wellenschlag bei heftigen Winden grofse Sandmassen in sie hinein, und wenn sie dadurch zuweilen auch nicht vollständig geschlossen werden, so verlegen sie sich, der Richtung des Windes und des Küstenstromes folgend, seitwärts, so dafs der Abflufs des Wassers durch die Verlängerung des Laufes erschwert wird. Findet dagegen kein Küstenstrom statt, und trifft zugleich kein heftiger Wellenschlag die Mündung, so schlägt sich das Material, welches der Flufs mit sich führt, unmittelbar davor nieder. Hieraus bildet sich nach und nach ein Vorland, oder die Ufer dehnen sich seewärts aus und der Flufs wird länger. Indem derselbe aber auch in dieser neu hinzugekommenen Strecke eines gewissen Gefälles bedarf, so erhöht sich sein Wasserspiegel weiter aufwärts, oder die daneben liegenden Ufer verlieren, wenn sie schon niedrig waren, ihre natürliche Entwässerung.

Die an den Mündungen der meisten gröfseren Ströme befindlichen Niederungen sind wahrscheinlich auf diese Art entstanden. Die Mündung der Rhône verlegt sich von Jahr zu Jahr weiter in das Mittelländische Meer. Nach einer Mittheilung von Prony rückte die Mündung des Po vom 12ten bis zum 17ten Jahrhundert jährlich um 6¼ Ruthen vor, seit dem Anfange des 17ten Jahrhunderts ist

das Fortschreiten aber viel stärker geworden und beträgt jährlich sogar $18\frac{1}{3}$ Ruthen. Ebenso zeigt eine Vergleichung der ältern und neuern Charten der Nogat (eines Armes der Weichsel, der ohnfern Elbing in das Frische Haff mündet), daſs deren Mündung von 1714 bis 1794 jährlich um $6\frac{2}{3}$ Ruthen, von 1794 bis 1838 aber jährlich um $11\frac{1}{3}$ Ruthen vorrückte.

Der Grund, weshalb in neuerer Zeit die Verlandungen schneller eintreten, und deshalb die Versumpfungen jetzt stärker werden, als früher, ist in der Zerstörung der Waldungen und in der Ausdehnung des Ackerbaues zu suchen. So lange nämlich der Boden seinen natürlichen Schutz im Rasen und Strauche und in den Bäumen fand, die darin wurzelten, so wurde das Wasser, welches bei einem starken Regen darauf niederfiel, nicht nur zurückgehalten, so daſs es nur langsam den Betten der Bäche und Ströme zufloſs, sondern es berührte auch so wenig den nackten Boden, daſs es von diesem die Erde und den Sand nur selten lösen und mit sich führen konnte. Wenn aber die Waldungen verschwunden sind und die Oberfläche in Ackerland verwandelt ist, wobei man immer für einen leichten Abfluſs sorgt, so stürzt das Wasser bei starkem Regen sogleich den Bach- und Fluſsbetten zu und reiſst von dem aufgelockerten Boden groſse Erdmassen mit sich, welche jene Versandung und Verlängerung der Flüsse erzeugen. Die Wiederherstellung des frühern Zustandes ist aber abgesehn von dem langen Zeitraume, den sie jedenfalls in Anspruch nimmt, in vielen Fällen dadurch unmöglich geworden, daſs das herabstürzende Wasser die schwache Humus-Decke fortgespült hat und auf dem nakten Felsen keine Cultur gedeiht.

Im Vorstehenden sind die verschiedenen Ursachen der Versumpfung zusammengestellt, doch können die Methoden zur Beseitigung derselben hier nur insofern mitgetheilt werden, als sie in das Gebiet der Hydrotechnik fallen. Wie tief das Wasser gesenkt werden muſs, um diese oder jene Cultur, die der Beschaffenheit des Bodens und den sonstigen localen Verhältnissen entspricht, zu ermöglichen, ist eine Frage, die nur der Landwirth beantworten kann. Ueberhaupt ist bei Meliorationen der Wirkungskreis des Wasserbaumeisters von dem des Oeconomen so wenig scharf getrennt, daſs dem ersteren nicht leicht die Bearbeitung und Ausführung eines Entwurfes ganz überlassen wird, woher es sich rechtfertigt, daſs nachstehend die verschiedenen anzuwendenden Methoden nur in allgemeinen Umris-

sen mitgetheilt sind. Der eigentliche Deichbau wird aber später behandelt werden.

Soll das Project zur Entwässerung eines Sumpfes oder zur Trockenlegung eines Sees aufgestellt werden, so muſs man sich zunächst durch eine genaue Localuntersuchung von der Ursache der Ansammlung des Wassers Rechenschaft geben, damit einer ferneren Einwirkung derselben gehörig vorgebeugt werden kann. Demnächst ist eine genaue Aufnahme des Terrains erforderlich. Dabei tritt die Schwierigkeit ein, daſs eine sumpfige Fläche nicht überall zugänglich ist, und da nicht nur die Grenze derselben, sondern auch alle darin belegenen Vertiefungen und Erhebungen auf der Charte zu bezeichnen sind, so muſs man eine Methode wählen, wobei man die Meſskette beinahe ganz entbehrt, und durch Winkelmessungen von einzelnen Punkten aus schon in den Stand gesetzt wird, die Lage derselben zu bestimmen.

Hierzu empfiehlt sich zunächst die unter dem Namen der Pothenotschen Aufgabe bekannte Methode, mittelst deren man die Lage eines Punktes findet, wenn man von demselben aus die beiden Winkel zwischen drei ihrer Lage nach bekannten andern Punkten gemessen hat. Es bedarf kaum der Erwähnung, daſs man diese Aufgabe sowol durch Rechnung, was unbedingt am sichersten ist*), wie auch mittelst des Meſstisches und am bequemsten mittelst der Boussole lösen kann. Im letzten Falle genügt es sogar schon, nach zwei bekannten Punkten zu visiren, wobei freilich jede Controlle ebenso fortfällt, als wenn man nur zwischen drei Punkten die Winkel gemessen hätte.

Die Detail-Messungen muſs man zuweilen mit Instrumenten ausführen, die keiner festen Aufstellung bedürfen, weil der Boden entweder so nachgiebig ist, daſs man ein festes Stativ in seiner Lage nicht sicher erhalten kann, oder man wohl gar gezwungen ist, auf Nachen die Tiefen- und zugleich auch die Winkelmessungen vorzunehmen. Man ist alsdann auf den Spiegel-Sextant und ähnliche Reflections-Instrumente beschränkt, während die Schmalkaldische

*) Wie man unter Zugrundelegung einer gröſsern Anzahl von Festpunkten die wahrscheinlichste Lage des gesuchten Punktes findet, habe ich in den Grundzügen der Wahrscheinlichkeits-Rechnung, Berlin 1867, ausführlich entwickelt.

Boussole, mit der aus freier Hand gemessen wird, bei kleineren Entfernungen sehr brauchbar ist.

Die Ermittelung der Höhenlage des Bodens ist am leichtesten, wenn die zu entwässernde Fläche ein See ist, das heifst, wenn sie so hoch mit Wasser bedeckt ist, dafs dasselbe eine horizontale Oberfläche annimmt. In diesem Falle verwandelt sich das Nivellement in eine Peilung oder Tiefenmessung. Hierüber wird bei Gelegenheit der hydrometrischen Messungen, die den Strom-Correctionen vorangehn, ausführlich die Rede sein. Ist dagegen der Sumpf ganz oder doch stellenweise stark verwachsen und dadurch der Wasserspiegel vielfach unterbrochen, oder wenn eine merkliche Strömung sich irgendwo darin zu erkennen giebt, so bildet die Wasserfläche nicht mehr eine horizontale Ebene. Man kann alsdann die Ausführung eines Nivellements nicht umgehn, und zwar mufs man sich, da hier eine grofse Genauigkeit nothwendig ist, eines guten Instrumentes mit Fernrohr und Libelle bedienen. Es fehlt aber gemeinhin an der nöthigen Anzahl von Punkten, die fest genug sind, um das Instrument mit Sicherheit darauf stellen zu können, man mufs sie daher theilweise durch Rüstungen künstlich bilden, und von diesen aus die Höhenlage des umgebenden Bodens an fest eingestofsenen Visirlatten bestimmen.*) Aufserdem kann man auch, wenn scharf markirte Signale, wie etwa Kugeln im Sumpfe aufgestellt sind, die Höhe derselben durch genaue Messung der Vertikalwinkel von dem höhern Ufer aus finden.

Die Resultate des Nivellements stehn mit der angefertigten Charte in genauer Beziehung, und es kommt darauf an, sie auf dieser so anzudeuten, dafs man ein deutliches Bild von der ganzen Höhenlage der zu entwässernden Fläche erhält. Durch Anfertigung besonderer Nivellements-Profile erreicht man diesen Zweck nicht. Man gewinnt keine Uebersicht, wenn man die verschiedenen Profile besonders nachschlagen mufs, und es gewährt auch wenig Erleichterung, wenn letztere unmittelbar in die Charte eingezeichnet sind, wodurch überdies die Deutlichkeit zu leiden pflegt. Passender ist es, die Höhenlage aller gemessenen Punkte über oder unter dem

*) Die Rücksichten, die zur Erlangung sicherer Resultate bei einem Nivellement zu nehmen sind, habe ich in dem angeführten Werke über Wahrscheinlichkeitsrechnung im 5. Abschnitte gleichfalls behandelt.

angenommenen Normalhorizont in Zahlen einzuschreiben. Ein besonders klares und scharfes Bild von der Gestaltung der Oberfläche erhält man aber, wenn man in die Charte diejenigen Linien einträgt, die den Durchschnitt gewisser horizotalen Ebenen mit der Oberfläche darstellen. Diese Art der Bezeichnung wird heutiges Tages auch auf andern Charten vielfach angewendet.

Daſs unter den Vorarbeiten, welche der Ausführung einer Melioration vorangehn müssen, die Untersuchung der **Beschaffenheit des Bodens** inbegriffen ist, darf kaum erwähnt werden, indem hiervon hauptsächlich der ganze Bewirthschaftungsplan und der zu erwartende Nutzen des Unternehmens abhängt. Diese Untersuchung hat indessen auch einen andern, mehr hydrotechnischen Zweck, nämlich es fragt sich, ob der Boden bei der erfolgenden Austrocknung sich bedeutend senken wird, wodurch die spätere Entwässerung wieder leidet. Bei Sand- und Kiesgrund hat man dieses wenig zu befürchten, bei einem stark durchweichten Thonboden in höherem Grade, und am meisten, wenn der Boden wie etwa loser Torf aus durchwachsenen Wurzelfasern zusammengesetzt ist und mitunter sogar auf dem Wasser schwimmt. Die zu erwartende Senkung des Bodens ist aber nicht nur von der Beschaffenheit des weichen Obergrundes, sondern auch von der Mächtigkeit desselben abhängig. Man muſs also durch Bohrversuche sich hiervon eine nähere Kenntniſs verschaffen und demnächst durch ungefähre Schätzung diejenige Tiefe zu bestimmen suchen, zu der die Oberfläche herabsinken wird.

Ferner sind die **Bäche oder Flüsse**, welche sich in die Niederung ergieſsen, oder darin geleitet werden können, ein wichtiger Gegenstand, und zwar kommt auſser der Höhe, in der man sie abfangen kann, auch ihre Wassermenge sowol in der trockenen Jahreszeit, als nach heftigen Regengüssen und beim Schmelzen des Schnees in Betracht, und endlich ist in beiden Fällen noch die Beschaffenheit des Wassers zu untersuchen. Ein reines Wasser, oder ein solches, welches klar ist, setzt keinen Niederschlag ab, man kann es daher durch die Entwässerungsgräben abführen, ohne befürchten zu dürfen, daſs dieselben dadurch verschlämmt werden. Dieses Wasser ist indessen für die Cultur weniger nützlich. Wenn dagegen Thon- und Humus-Theilchen im Wasser schweben, so düngen sie den Boden. Endlich führen die Bäche auch Sand, Kies und Geschiebe und zwar

oft in großer Menge mit sich. Alsdann muß man sie von dem unmittelbaren Eintritt in die Entwässerungsgräben abhalten, weil sie dieselben verflachen würden. Dieses Wasser ist aber bei besonders niedrigem Boden von der äußersten Wichtigkeit, indem es zu den sogenannten Colmationen benutzt werden kann, das heißt, man sammelt es in großen Bassins an, worin es zur Ruhe kommt und alle erdigen Stoffe und gröberen Geschiebe fallen läßt. Auf solche Art erhöht man die einzelnen Flächen soweit, daß ihnen die natürliche Entwässerung gegeben werden kann.

Endlich sind die meteorologischen Verhältnisse auch noch in Betracht zu ziehn. Man muß, wenn auch nur annähernd, nicht nur die Menge des jährlichen Niederschlages, sondern auch die größte Regenmenge kennen, die an einem oder an zwei aufeinander folgenden Tagen herabgefallen ist.

Wie diese verschiedenen Untersuchungen zur Entwerfung des Projectes benutzt werden, wird sich aus dem Folgenden ergeben. Die Mittel, die man aber anwenden kann, um die Entwässerung zu bewirken, sind:

1) Beförderung der Vorfluth. Dieses geschieht entweder durch Senkung des Wasserspiegels in dem Flusse oder dem See, der die Entwässerungsgräben aufnimmt, oder durch Beseitigung der sonstigen Hindernisse des Abflusses.
2) Entfernung des fremden Wassers von der zu entwässernden Gegend, damit die Abzugsgräben keine andere Wassermenge abzuführen haben, als diejenige, welche in dem Sumpfe selbst niederschlägt, oder in Quellen darin hervortritt.
3) Anlage der Entwässerungsgräben, deren angemessene Anordnung und Profilirung wesentlich zum Gelingen des Unternehmens beiträgt.
4) Erhöhung des zu entwässernden Terrains durch Colmation oder durch den Niederschlag der hineingeleiteten Flüsse und Bäche.
5) Sickergräben oder Drains, die jedoch nicht sowol in sumpfigen Niederungen, als in höherem Terrain benutzt werden, um einen undurchlässigen Boden trocken zu legen.

Außerdem kann man noch durch künstliche Entwässerung, das heißt durch Anwendung von Schöpfmaschinen, das Waser entfernen, doch kommt dieses bei solchen Meliorationen, wovon

hier die Rede ist, nicht leicht vor. Schliefslich mufs noch erwähnt werden, dafs man zuweilen durch Anpflanzung solcher Gewächse das Wasser zu entfernen gesucht hat, welche grofse Quantitäten desselben consumiren. Namentlich eignen sich hierzu manche Baumgattungen, die man indessen alsdann nur als Strauch cultivirt, da das Treiben von recht vielen und kräftigen Zweigen hierbei besonders wirksam ist. Eine zehnjährige Weidenwurzel soll in sechs Tagen etwa einen Cubikfufs Wasser aufsaugen. Da man aber gewöhnlich eine andre und vortheilhaftere Benutzungsart des Bodens beabsichtigt, so wird hiervon nicht leicht Gebrauch gemacht, wenn es nicht etwa zugleich darauf ankommt, Faschinenholz für die sonstigen Entwässerungsanlagen zu gewinnen.

§. 25.
Beförderung der Vorfluth.

Wenn die versumpfte Fläche sich neben einem Flusse befindet, der durch Verlandung seines Bettes und seiner nächsten Ufer einen höhern Wasserstand angenommen und dadurch Veranlassung zum Entstehn des Sumpfes gegeben hat, so mufs man untersuchen, ob der Wasserstand an der Stelle, wo der Abzugsgraben einmündet, gesenkt werden kann. Die dabei anzuwendenden Mittel werden bei Gelegenheit der Stromcorrectionen ausführlich behandelt werden, hier darf nur insofern davon die Rede sein, als man zuweilen die Länge des Flusses mittelst Durchstechung der gröfseren und schärferen Krümmungen vermindert. Gelingt es, auf diese Art, unterhalb der Einmündung des Abzugsgrabens eine Verkürzung des Stromlaufes hervorzubringen und stellt sich in dem neuen Flufsbette beim Sommerwasser kein stärkeres relatives Gefälle dar, als das alte hatte, so gewinnt man dasjenige Gefälle, welches der früheren Mehrlänge des Flusses entpricht. Solche Durchstiche sind aber oft sehr kostbar, und zwar nicht nur in Bezug auf die Ausführung, sondern auch wegen der vielfachen Entschädigungen, die dabei vorzukommen pflegen und wegen der nothwendigen Uferdeckungen, wodurch die Bildung neuer Serpentinen verhindert wird. Man darf von diesem Mittel auch nur Gebrauch machen, wenn man im Stande ist, um eine bedeutende Länge den Flufslauf zu verkürzen.

Als Beispiel von dem günstigen Erfolge solcher Geradleitung des Flusses, in Bezug auf die Senkung des Wasserspiegels, müssen die grofsartigen Arbeiten angeführt werden, die vor 50 Jahren am Ober-Rhein zwischen Neuburg bei Karlsruhe und der Mündung des Frankenthaler Canales bei Mannheim, auf der Grenze zwischen Baden und Rheinbayern ausgeführt sind. Die Stromlänge betrug früher $15\frac{2}{3}$ Meilen, und ist durch siebenzehn Durchstiche auf 10 Meilen reducirt, so dafs man $5\frac{2}{3}$ Meilen an Länge gewonnen hat. Diese Durchstiche waren nach 20 Jahren beinahe vollendet, doch hatten sie grofsentheils noch nicht den ganzen Strom aufgenommen und zum Theil waren sie noch nicht eröffnet, und dennoch blieb Karlsruhe gegenüber der Wasserstand des Hochwassers schon 5 Fufs und der des Mittelwasers 3 Fufs unter dem früheren.

Wenn der Flufs, in welchen der Abzugsgraben mündet, ein starkes Gefälle hat, so kann man den Wasserspiegel des Grabens auch dadurch senken, dafs man den letzteren neben dem Flusse weiter abwärts leitet, und ihn erst später in diesen ausmünden läfst. Das im Sumpfe gesammelte Wasser ist immer sehr rein und giebt keine Veranlassung zu Versandungen, das dem Graben gegebene tiefe Profil erhält sich daher lange Zeit hindurch und deshalb ist auch kein starkes Gefälle zur Abführung der ganzen Wassermenge nothwendig. Auf solche Art kann leicht ein Abzugsgraben, der 2 bis 3 Fufs tiefer als der Flufs liegt, etwa eine Viertelmeile weiter abwärts schon in denselben geführt werden. Die Elbe und Havel fliefsen zwischen Genthin und Werben etwa auf acht Meilen Länge parallel neben einander. Am obern Ende dieser Strecke, in der Richtung des alten Plauenschen Canales liegt der Wasserspiegel der Elbe etwa 15 Fufs über dem der Havel, da jedoch das Gefälle der Elbe 1 : 5000, das der Havel dagegen nur 1 : 16000 beträgt, so kann letztere unterhalb Havelberg sich in die erste ergiefsen, und das weit ausgedehnte tiefe Terrain zwischen Oder und Elbe entwässern.

Legt man in dieser Art einen Abzugsgraben neben den Flufs, so begegnet man leicht Bächen, die sich in den letzteren ergiefsen. Wollte man dieselben in den Graben treten lassen, so würde die gröfsere Wassermenge ein stärkeres Gefälle und sonach eine Erhebung des Wasserspiegels zur Folge haben, aufserdem würde aber auch das Material, welches der Bach, wenigstens zur Zeit seiner Anschwellung, mit sich führt, das Bette des Grabens verflachen und

dadurch aufs Neue die Wirksamkeit der Anlage beeinträchtigen. Man muſs also die beiden Wasserläufe von einander trennen und dieses ist nur möglich, wenn man einen über dem andern fortführt. Da der Abzugsgraben beinahe auf seine ganze Länge tiefer, der Bach dagegen höher, als der Fluſs liegt, so ist es schon aus diesem Grunde angemessen, den Bach in einem Brückencanale über den Graben zu führen. Es giebt aber noch andere Gründe, die für diese Anordnung sprechen. Insofern nämlich der Graben nur aus einer Ebene das Wasser abführt, die bei heftigem Regen inundirt wird, so hebt sich der Wasserspiegel desselben nie zu einer bedeutenden Höhe, und man darf der Brückenöffnung, durch welche man ihn leitet, keine so groſse Weite geben, als der Bach erfordern würde, der in höherem Terrain entspringt und oft in kurzer Zeit hoch anschwillt. Sodann aber ist man auch häufig gezwungen, denjenigen Wasserlauf, der bei der Durchkreuzung der untere ist, noch tiefer zu senken, dieses muſs sogar immer geschehn, sobald beide Wasserstände nahe in gleicher Höhe liegen. In diesem Falle würde ein Bach, der Sand und Geschiebe führt, die vertiefte Rinne bald sperren und sich alsdann in den darüber befindlichen Graben ergieſsen, wogegen umgekehrt der letztere, wenn er die vertiefte Rinne durchflieſst, dieselbe offen erhält, indem sein Wasser von grobem und schwerem Material frei ist. Dennoch muſs man, um ein mögliches Verstopfen zu verhindern und um häufigen Räumungen vorzubeugen, scharfe Ecken vermeiden und in sanften Krümmungen den Graben hindurchführen. Fig. 121 auf Taf. X. zeigt das Profil des gesenkten Abzugsgrabens, welches Guglielmini empfiehlt.

Da jeder Fluſs gewissen Anschwellungen unterworfen ist und dieselben in den meisten Fällen so hoch sind, daſs sie das geringe Gefälle der Abzugsgräben aufheben, so hört während dieser Zeit die Entwässerung auf, und gemeinhin würde auch das Hochwasser durch Rückstau in die zu entwässernde Gegend treten und selbige inundiren, wenn man es nicht durch besondere Anlagen davon abhielte. Einer Ueberfluthung kann hierdurch gewöhnlich nicht vorgebeugt werden, indem die Anschwellung des Flusses und sonach die Unterbrechung der Abwässerung fast immer so lange anhält, daſs das Sammelwasser in der Niederung aus den Gräben tritt und die niedrigsten Umgebungen oder auch wohl das ganze Terrain überschwemmt, dagegen verhindern jene Anlagen das Eintreten des

trüben Flufswassers und sonach die Verschlämmung der Gräben. Die Periode der höchsten Anschwellung fällt gemeinhin in eine Jahreszeit, wo der Graswuchs dadurch noch nicht leidet, auch für den Ackerbau der höhere Wasserstand, wenn er nicht zu lange anhält, unschädlich ist.

Die Anlagen, welche das Eintreten des Hochwassers der Flüsse in die Abzugsgräben verhindern, ohne den Ausflufs des Binnenwassers zu hemmen, sobald jenes aufgehört hat, nennt man Siele. Ihre Construction wird beim Deichbau beschrieben werden. Im Allgemeinen wäre hier nur zu bemerken, dafs sie bei schnellen und häufigen Aenderungen des Wasserspiegels sich von selbst schliefsen und öffnen, indem sie mit Klappen oder Thüren versehn sind, die nach aufsen aufschlagen. Wenn aber der Graben in einen Flufs mündet, der langsam und selten anschwillt, so gewähren Schütze, die durch angestellte Aufseher gehoben und geschlossen werden, eine gröfsere Sicherheit und gewöhnlich auch einen freieren Abflufs.

Endlich wäre noch zu erwähnen, dafs der Abzugsgraben an eine Stelle das Flufsbette treffen mufs, wo dasselbe nahe am Ufer hinreichend tief, auch vor Ablagerungen von Material geschützt ist. In dieser Beziehung empfehlen sich vorzugsweise Stromkrümmen und zwar die concaven Seiten derselben. Es befindet sich hier gemeinhin die grofse Tiefe unmittelbar neben dem Ufer, und Ablagerungen treten nicht ein, da schon das Ufer im Angriffe liegt, und daher künstlich gedeckt werden mufs.

Es ist bisher nur die Rede davon gewesen, wie man die Vorfluth durch Darstellung einer möglichst tiefen Ausmündung des Abzugsgrabens befördert, es kann aber auch geschehn, dafs in dem Abzugsgraben selbst künstliche oder natürliche Wehre vorhanden sind, welche den schädlichen Aufstau bilden. Dieser Fall ist nicht selten und namentlich sind es häufig Mühlenanlagen, durch welche die Versumpfung veranlafst wurde und durch deren Beseitigung schon das Uebel gehoben werden kann. Zuweilen ist aber die gänzliche Beseitigung der Mühle nicht erforderlich, vielmehr genügt schon ein gehörig weiter und tiefer Grundablafs, um der Erhöhung des Flufsbettes vorzubeugen.

In Gebirgsgegenden werden häufig Seen dadurch gebildet, dafs einzelne Höhenzüge oder Bergrücken die Thäler durchsetzen und das Wasser vor sich so hoch anspannen, bis es sie übersteigt,

und wie über ein künstliches Wehr abfliefst. Die vielen Seen, welche den nördlichen und zum Theil auch den südlichen Abhang der Alpen umgeben, sind auf diese Art entstanden, und man darf wohl annehmen, dafs unmittelbar nach der Bildung der jetzigen Erdoberfläche die Anzahl und Ausdehnung solcher Seen noch gröfser war, weil viele derselben theils durch Anfüllung ihrer Betten und theils durch Vertiefung der Abflüsse verschwunden sind.

Nur in seltenen Fällen hat man eine tiefe Senkung solcher Seen durch Stollen versucht. Beispielsweise ist dieses am Lungern-See im Canton Unterwalden im Anfange dieses Jahrhunderts geschehn, wo nach 40jähriger, oft unterbrochener Arbeit endlich im Anfange des Jahres 1836 in der Tiefe von 120 Fufs unter dem bisherigen Wasserspiegel ein Stollen eröffnet wurde, durch welchen der See bald darauf eben so tief abflofs.

§. 26.
Entfernung des fremden Wassers.

Die sumpfigen Flächen, deren Entwässerung man beabsichtigt, nehmen fast jedesmal die niedrigsten Stellen der Flufsthäler ein, und werden daher nicht nur durch das Wasser des Flusses, sondern auch durch die Bäche gespeist, die seitwärts von dem höheren Ufer herabfliefsen. Je gröfser aber die abzuführende Wassermenge ist, um so mehr füllt sich unter übrigens gleichen Umständen der Abzugsgraben an, oder um so weniger senkt er den Wasserstand in der Niederung, die durch ihn trocken gelegt werden soll. Es ist daher nothwendig, den Zuflufs des fremden Wassers möglichst zu beschränken.

Man erreicht hierdurch aber noch andre wichtige Vortheile. Die Bäche und Flüsse, welche ein stärkeres Gefälle haben, führen nämlich, besonders zur Zeit der Anschwellung, eine Menge Erde, Sand und Geschiebe mit sich, die in den Abzugsgräben niederschlagen und häufige Räumungen derselben nothwendig machen. Endlich ist das fremde Wasser auch stärkeren Anschwellungen ausgesetzt, als das Sammelwasser in dem Sumpfe, und man ist sonach bei der Vereinigung beider gezwungen, den Ableitungsgräben gröfsere Profile zu geben, wodurch die Anlage-Kosten für Grabenarbeiten erhöht werden.

Hierdurch begründet sich die Regel, dafs man bei jeder vorzunehmenden Entwässerung, soviel es möglich ist, das fremde Wasser von der Niederung abhalten und es in besondern Canälen an derselben vorbeiführen mufs. Diese Vorsicht ist im Allgemeinen um so nothwendiger und auch um so leichter zu beobachten, je stärker das Gefälle dieses Wassers in seinem obern Laufe ist. Man giebt ihm ein künstliches, und zwar bei allen Wasserständen vollständig geschlossenes Bette, das entweder am Rande des höheren Ufers, also auf einer Seite bleibt, oder das man durch die Niederung selbst hindurchführt.

Im ersten Falle umgeht man die Theilung der Niederung. Der zweite Fall, wobei nämlich die Niederung in zwei getrennte Theile zerlegt wird, bietet manche Schwierigkeiten, man mufs nämlich jeden Theil der Niederung mit einem besondern Entwässerungsgraben versehn, aufserdem aber kann man das fremde Wasser nicht auf höherem Terrain herabführen, welches Gelegenheit bietet das erforderliche Gefälle darzustellen, vielmehr mufs man die Sohle des Canales sogleich bis zum Niveau der Niederung senken und nur durch hohe Verwallungen zu beiden Seiten läfst sich das Uebertreten des fremden Wassers vermeiden.

Bietet sich dagegen Gelegenheit, den Bach zur Seite der Niederung abzuleiten, so wird das natürliche Bachbette in einer angemessenen Höhe geschlossen, und das neue Bette steigt, indem es am Rande der Anhöhe sich hinzieht, allmälig herab, doch erreicht es die Thalsohle erst unterhalb der zu entsumpfenden Gegend. Man braucht dieses neue Bette gewöhnlich nur auf der Thalseite mit Deichen zu umgeben, auf der Bergseite fehlen solche ganz, oder sie sind doch nur stellenweise und in geringerer Höhe erforderlich. Trifft es sich aber, dafs man tiefe Seitenthäler überschreiten mufs, so ist die gröfsere Tiefe, welche das Bette hier erhält, keineswegs nachtheilig, vielmehr bietet sie eine günstige Gelegenheit zur Ablagerung des Geschiebes. In dieser Beziehung ist auch eine stellenweise grofse Verbreitung des Bettes nicht ungünstig, denn auch sie wirkt auf die Verminderung der Geschwindigkeit und sonach auf die Reinigung des Wassers hin, und verhindert dadurch das Ablagern von Material in den untern Flufsstrecken. Wenn sonach der Boden keinen grofsen Werth hat, so darf man solche Querthäler nur auf der Thalseite abschliefsen und sie dadurch zur Zeit der An-

schwellung der Bäche in Seen verwandeln, indem die Bäche, denen man begegnet, zugleich in das neue Bette eintreten. Damit aber diese Canäle ihr Gefälle dauernd erhalten und nicht etwa stellenweise sich so vertiefen, dafs in der untern Strecke Mangel an Gefälle entsteht, so ist es von Wichtigkeit, in gewissen Abständen durch Grundwehre oder Schwellen ihre Sohle zu sichern. Dieses sind durchgehende breite Rücken, die aus Steinen möglichst tief und regelmäfsig gepackt und mit grofsen und lagerhaften Felsblöcken abgepflastert werden. Prony räth, sie bei starkem Gefälle in Abständen von höchstens 2000 Meter (etwa $\frac{1}{4}$ Meile) anzulegen. Vor jeder solchen Schwelle wird sich ein Stau bilden, der die Geschwindigkeit des Wassers mäfsigt, man kann daher gerade hier ohne Nachtheil auch schärfere Krümmungen anbringen, wenn der Zug der Anhöhe solche bedingt. Vor den Schwellen wird eine starke Verlandung und Erhöhung des Bettes eintreten, wodurch sich zuletzt ein ziemlich gleichmäfsiges Längen-Profil und zwar für dasjenige Gefälle bildet, welches gleich Anfangs durch die Steinschwellen bezeichnet wurde. In demselben Maafse, wie die tiefen und breiten Stellen im neuen Bette verschwinden, worin sich das Geschiebe absetzt, vermehrt sich hier die Geschwindigkeit, und die fernere Erhöhung des Bettes wird geringer, oder hört ganz auf, wenn endlich alles Material weiter stromabwärts geführt wird.

Es giebt indessen zuweilen Veranlassung, das fremde Wasser in die Niederung hineinzuleiten, und für diesen Fall ist es vortheilhaft, keine feste Coupirung in dem ursprünglichen Flufs- oder Bachbette anzubringen, vielmehr hier ein Stauwerk, also eine Art von Freiarche zu erbauen, die beliebig geöffnet werden kann. Letzteres geschieht theils behufs der Colmationen, theils aber auch, um zur Zeit der Dürre die Gräben der Niederung mit Wasser zu füllen, auch wohl, um in diesen durch stärkere Strömung der Verkrautung zu begegnen.

Wird der Flufs oder Bach durch die Niederung hindurchgeführt, so vermindert sich die grofse Tiefe des ursprünglichen Bettes durch die darin angesammelten Niederschläge, und es tritt alsdann die eigenthümliche Erscheinung ein, dafs die Sohle bedeutend höher liegt, als die beiderseitigen Wiesen oder Aecker. Bei kleinen Wasserläufen läfst sich in solchem Falle ein Durchbruch der Dämme leicht verhindern. Man sieht daher in Gebirgsgegenden häufig die seit-

wärts herabkommenden Bäche auf 10 bis 20 Fuſs hohen Erdrücken über dem Wiesengrunde flieſsen, und dieses Verhältniſs ist oft nicht künstlich dargestellt, sondern es entstand durch die allmälige Ablagerung des Materials. Man bemühte sich nur, durch Erhöhung der Deiche den Bach von den Wiesen abzuhalten, die er sonst mit dem Geschiebe überdecken würde. Die von den Tyroler Alpen herabkommenden Flüsse im nördlichen Italien zeigen ähnliche Erscheinungen. Auch ihre Betten befinden sich 20 Fuſs über den umgebenden Feldern und sind von innen mit Mauern eingefaſst, welche sich gegen Deiche lehnen. Die Straſsen steigen jedesmal stark an, sobald sie sich einem solchen Flusse nähern, und das grobe Geschiebe, welches das Bette stets anfüllt, das man zum Theil durch Ausfahren zu beseitigen sucht, läſst auf eine noch immer zunehmende Erhöhung schlieſsen. Auch gröſsere Ströme, wenn sie vor ihrer Mündung weite Niederungen berühren, zeigen, wenn gleich in geringerem Maaſse, doch ähnliche Erscheinungen. So erhebt sich der Rhein selbst beim niedrigsten Wasserstande vor Vianen (in der Nähe von Utrecht) bedeutend höher, als das eingedeichte Land liegt, auch der Wasserspiegel der Nogat bleibt vor den Elbinger Triften und an der Mündung des Kraffohl-Canals beständig höher, als das östliche eingedeichte Ufer. Man hat diese unnatürliche Anspannung künstlich herbeigeführt, indem man durch die Bedeichung eine gleichmäſsige Erhöhung der ganzen Niederung unmöglich machte.

Ein interessantes Beispiel der Abhaltung des fremden Wassers von dem Abzugsgraben bietet die Linth. Der Canal, der den Wallenstädter See ableitet, nimmt kein fremdes Wasser auf, sondern dieses wird auf beiden Seiten in besondern Canälen nach dem Züricher See geleitet. Obwohl diese Trennung die Anlage von drei Canälen nöthig machte, so entschloſs man sich dazu, um den Haupt-Canal nicht der Gefahr auszusetzen, durch starke Fluthen, die seitwärts eintreten, in seinen Ufern angegriffen und durch das Material, was sie von den Bergen herabbringen, gesperrt zu werden. Sodann aber führen die Seitencanäle in trockner Jahreszeit auch wenig Wasser ab und sonach senkt sich alsdann in ihnen der Wasserspiegel tief unter den des Hauptcanals, und es wird dadurch möglich, das Thal als Weideland und Wiese zu benutzen. Man hat aber auch dafür gesorgt, daſs die Seitencanäle nicht unmittelbar das Bergwasser aufnehmen, vielmehr wird dieses zunächst durch steinerne Wehre, hier

Wuhre genannt, in den natürlichen Vertiefungen aufgestaut und es läfst dabei alles Geschiebe und feineres Material, das es mit sich führt, fallen. In dieser Weise bewirken die Seitenzuflüsse eine allmälige Ausgleichung und Erhöhung des Thales, wodurch wieder der Hauptcanal in seinen Ufern gesichert wird. Aber auch die Linth selbst, die als wilder Bergstrom aus dem Canton Glarus herabkommt und das schwerste Geschiebe und dabei sogar Steinblöcke von mehreren Cubikfufsen führt, durfte nicht unmittelbar in den Abzugsgraben des Wallenstädter Sees treten. Zur Aufnahme dieses Geschiebes bot indessen der See wegen seiner grofsen Tiefe eine passende Gelegenheit, doch mufste man, um eine frühere Ablagerung zu vermeiden, das Flufsbette mit starkem Gefälle, also hoch über der Thalsohle bis nach dem See führen, und es von Zeit zu Zeit weiter verlängern.

In vielen Fällen ist die Abschliefsung des fremden Wassers das wirksamste Mittel, welches man zur Entwässerung einer sumpfigen Gegend anwenden kann. So haben die vielfachen Versuche, die man beinahe seit 2000 Jahren zur Cultivirung der Pontinischen Sümpfe zwischen Rom und Neapel gemacht hat, wie Prony meint*), nur deshalb den erwarteten Erfolg nicht gehabt, weil das fremde Wasser gar zu nachtheilig darauf einwirkte. Die Pontinischen Sümpfe erstrecken sich auf 5¼ Meilen Länge von Cisterna bis Terracina und zwar ziemlich parallel der Meeresküste. Von letzterer trennt sie eine doppelte Dünenreihe, die sich südöstlich bis zum Vorgebirge Monte Circeo hinzieht. Der Versuch, diese Dünen zu durchstechen, und das in der Niederung angesammelte Wasser auf dem kürzesten Wege, und zwar in einem gehörig weiten und tiefen Canale dem Meere zuzuführen, hatte keinen dauernden Erfolg, woher früher Castelli und später Prony empfahlen, die Bäche und Flüsse, die sich in die Sümpfe ergiefsen, mit Umgehung der letzteren direct in das Meer zu leiten.

Die Anlagen zur Ableitung des fremden Wassers sind bereits angedeutet, doch bedarf die Feststellung des dabei zu wählenden Profiles noch einer besondern Erwähnung. Dieses läfst sich aus den Gesetzen über die Bewegung des Wassers in Flufsbetten berechnen, wenn man das Gefälle und die Wassermenge kennt. Hier-

*) *Description hydrographique et historique des marais Pontins par de Prony.* Paris 1822.

bei kommt es jedoch weniger auf die durchschnittliche Wassermenge des Flusses oder Baches an, als vielmehr auf das Maximum derselben, das bei plötzlichem Schmelzen des Schnees, oder nach besonders heftigem Regen abgeführt wird. Gewiſs ist es bei der Seltenheit solcher Witterungsverhältnisse sehr schwierig und beinahe unmöglich, directe Messungen darüber anzustellen, und man muſs daher gemeinhin aus der Gröſse des Fluſsgebietes und aus der Beschaffenheit desselben auf die höchste Reichhaltigkeit der Flüsse schlieſsen. Dabei ist aber besonders die gröſste Regenmenge zu berücksichtigen, welche zu Zeiten in einem oder in zwei auf einander folgenden Tagen niederfällt.

Prony fand, daſs kleine Wasserläufe, wenn sie in kurzen Zwischenzeiten durch starke Zuflüsse gespeist wurden, schon in der Entfernung von einigen hundert Fuſsen eine gleichmäſsige Strömung zeigten, und er schloſs daraus, daſs die stärksten momentanen Anschwellungen weiter abwärts verzögert würden, und sonach die Regenmenge nicht so schnell, wie sie niedergefallen ist, sich im Fluſsbette sammelt und darin weiter strömt. Die Dauer der stärksten Anschwellungen ist gewiſs von vielen Zufälligkeiten abhängig. Prony nahm an, daſs dieselbe bei den Flüssen, welche in die Pontinischen Sümpfe treten, sich auf 200000 Secunden, oder auf 2¼ Tage ausdehnt. Die Höhe des Niederschlages, wodurch eine solche Anschwellung verursacht wird, setzte er aber gleich 6 Centimeter oder 2¼ Zoll, auch nahm er an, daſs der dritte Theil davon sich in den Boden einzieht, so daſs dem Flusse nur 4 Centimeter zuflieſsen. In einzelnen Fällen hat man zwar stärkere Niederschläge beobachtet, allein eines Theils meint Prony, daſs man die seltenen Ausnahmen, die vielleicht in hundert Jahren einmal erwartet werden können, nicht zur Norm der Anlage wählen dürfe, und demnächst sei es auch zweifelhaft, ob ein solcher heftiger Regen sich wirklich über das ganze Fluſsgebiet verbreitet. In Rheinländischem Maaſse giebt dieses für jede Quadratmeile Fluſsgebiet 360 Cubikfuſs in der Secunde.

Man darf diese Regel gewiſs nicht auf alle Fälle anwenden, denn wesentliche Abweichungen werden bedingt

1) durch die Verschiedenheit des Niederschlages, der nach §. 3 von den klimatischen Verhältnissen und der Beschaffenheit des Bodens abhängt,
2) durch die Ausdehnung des Fluſsgebietes. Je gröſser dasselbe

ist, um so geringer wird die Wassermenge sein, welche die Quadratmeile Bodenfläche zur Zeit der höchsten Anschwellungen liefert, weil nicht leicht ein gröfserer Landstrich in seiner ganzen Ausdehnung von dem heftigen Regen getroffen wird. Endlich verursachen die längeren und kürzeren Wege, die das Wasser durchlaufen mufs, bevor es das Flufsbette erreicht und in diesen zur Niederung gelangt, auch eine gröfsere Dauer, und sonach eine mindere Höhe der Anschwellung,

3) auf flachem und aufgeschwemmtem Boden ist derjenige Theil des Niederschlages, der in die Erde dringt, oder auf Wiesenflächen und anderen Ebenen, die fast horizontal sind, zurückgehalten wird, verhältnifsmäfsig gröfser und zugleich bewegt sich das Wasser darüber viel langsamer nach dem Flusse, als in einer Gebirgsgegend. Beide Ursachen vereinigen sich wieder dahin, die gleichzeitig abfliefsende Wassermenge zu vermindern.

Es ergiebt sich hieraus, dafs der Werth der gröfsten Wassermenge eines Flusses von den benannten Localverhältnissen abhängig ist, dabei entsteht aber die Frage, ob jene 360 Cubikfufs für die Quadratmeile Flufsgebiet selbst für kleine Gebirgsflüsse das Maximum bezeichnen, oder ob sie den mittleren Werth hoher Anschwellungen ausdrücken. Schon aus den §. 6 gemachten Mittheilungen ergiebt sich, dafs die Wassermengen der höchsten Fluthen zuweilen bedeutend gröfser sind und selbst in unsern Gegenden der Niederschlag in 2½ Tagen jene 2¼ Zoll zuweilen übersteigt. Aufserdem darf aber nicht angenommen werden, dafs der dritte Theil davon in den Felsboden eindringt, selbst der aufgeschwemmte Boden nimmt kaum soviel auf, wenn er schon vorher sehr nafs war. Endlich ist auch die Voraussetzung, dafs das Wasser 2½ Tage gebraucht, um in dem Strome abzufliefsen, sehr zweifelhaft, insofern manche Gebirgsflüsse regelmäfsig nur 24 Stunden lang angeschwollen bleiben. Zwei Beispiele werden zeigen, dafs Prony's Annahme in der That zu niedrig ist.

Bei Gelegenheit eines Brückenbaues über die Ruhr bei Mühlheim kam es darauf an, die Wassermenge zu kennen, welche zur Zeit der höchsten Anschwellungen hier durchströmt, und die nähere Untersuchung des in den letzten Decennien beobachteten höchsten Wasserstandes ergab, mit Berücksichtigung der Profilweite und des Ge-

fälles, eine Wassermenge von 56000 Cubikfufs in der Secunde, was bei der Ausdehnung des ganzen obern Flufsgebietes von 85 Quadratmeilen für eine Quadratmeile 660 Cubikfufs macht.

Im Domleschger Thale im Canton Graubünden, wo der Rhein ringsum von Gletschern gespeist wird, hat man bei Gelegenheit der daselbst ausgeführten Correctionsarbeiten auf eine Wassermenge geschlossen, die bis 1100 Cubikmeter oder 35500 Cubikfufs in der Secunde beträgt. Die Ausdehnung des Flufsgebietes mifst aber nur etwa 25 Meilen, daher treffen auf die einzelne Quadratmeile über 1400 Cubikfufs.

Wenn auch der letzte Fall sich auf so eigenthümliche Verhältnisse bezieht, dafs er nicht als Norm angenommen werden kann, und der erste es zweifelhaft läfst, ob die Geschwindigkeit wirklich so grofs war, als man vorausgesetzt hat, da leicht eine Veranlassung zur theilweisen Hemmung des Abflusses eingetreten sein mochte, so darf man doch nicht annehmen, dafs die heftigsten Regengüsse gleichzeitig das Ruhrthal in seiner ganzen Ausdehnung treffen sollten, woher wohl niemals bei Mühlheim verhältnifsmäfsig eine so grofse Wassermenge vorbeifliefst, wie kleinere Bäche und Flüsse in dortiger Gegend zu Zeiten abführen. Hiernach erscheint es angemessen, Prony's Angabe keineswegs als Maximum der Reichhaltigkeit anzusehn. Hiermit stimmt auch ungefähr die Regel überein, wonach man in manchen Theilen des mittleren Deutschlands die Profile von Brücken und Archen bestimmt, wenn keine andern Umstände darüber nähern Aufschlufs geben: man setzt nämlich voraus, dafs nach Maafsgabe der besondern localen Verhältnisse jede Quadratmeile Flufsgebiet zur Zeit der höchsten Anschwellung 300 bis 600 Cubikfufs in der Secunde giebt.

Sobald man annähernd die gröfste Wassermenge kennt, so kommt es darauf an, aus derselben das passende Profil zu ermitteln. Wie aber bei allen Flüssen sich zwei verschiedene Profile bilden, nämlich eins für den gewöhnlichen niedrigen Wasserstand oder das eigentliche Flufsbette und eins für die hohen Fluthen, welches sich von einem Thalrande oder von einem Deiche bis zum andern erstreckt, so ist es auch angemessen, dem künstlich gebildeten Flusse in gleicher Weise zwei verschiedene Profile zu geben. Man verstärkt dadurch bei kleinem Wasser die Strömung und verhindert Versandungen, und aufserdem ist die Sohle des weiten Profiles noch als Wiese oder wenigstens als Weidegrund zu benutzen. Durch eine

weitläufige Rechnung, die jedoch großentheils auf sehr willkührlichen Voraussetzungen beruht, findet Prony diejenigen Zahlenverhältnisse des Profiles, welche in Fig. 122 dargestellt sind, nämlich für eine gewisse Maaßeinheit

die obere Breite des weiten Profiles . .	45
die untere - - - - . .	39
die obere Breite des engen Profiles . .	15
die untere - - - - . .	9
die Höhe des weiten, sowie des engen Profiles	2

Die Böschungen sind dabei mit 1½ facher Anlage angenommen, und der Flächeninhalt des weiten Profiles verhält sich zu dem des engen wie 4½ zu 1.

Geht man von der bisher üblichen Formel aus

$$c = \varkappa \sqrt{\left(\frac{h}{l} \cdot \frac{q}{p}\right)}$$

wo c die mittlere Geschwindigkeit
h das absolute Gefälle
l die Länge des Canales
$\varkappa$ eine gewisse Constante
q den Flächeninhalt und
p den benetzten Umfang des Profiles bedeutet,

und nennt man jene noch zu ermittelnde Einheit x, so findet man

$$q = 108 \,.\, x^2$$
$$p = 47{,}42 \,.\, x$$

Die Wassermenge ist aber

$$M = c \,.\, q$$

Hieraus ergiebt sich

$$x^5 = 0{,}00003765 \,.\, \frac{M^2}{\varkappa^2} \,.\, \frac{l}{h}$$

Wenn man hier wie gewöhnlich die Constante $\varkappa$ gleich 90 setzt, so folgt

$$x^5 = 0{,}0000000465 \,.\, M^2 \frac{l}{h}$$

Für den Fall, daſs $M = 1000$ Cubikfuſs und $\frac{h}{l} = \frac{1}{2000}$ ist, würde sich ergeben

$$x = 1{,}56$$

also die obere Breite des weiteren Profiles gleich 70 Fuſs, die des engeren 23½ Fuſs und die Tiefe jedes Profiles gleich 3 Fuſs 1½ Zoll.

Prony's Rechnungen sind nicht so einfach, indem er eine com-

plicirtere Formel über die Bewegung des Wassers in Flufsbetten zum Grunde legt. Die Resultate, zu denen er gelangt, sind indessen von den vorstehenden nur wenig verschieden. In dem erwähnten Werke über die Pontinischen Sümpfe wird noch mitgetheilt, dafs bei den Entwässerungen in Burgund diese Bestimmung der Wassermengen und Profile zu sehr brauchbaren Resultaten geführt hat, indem bei hohen Anschwellungen die Profile sich füllen, die Deiche aber nicht überströmt werden.

Das vorstehend zum Grunde gelegte Gesetz, wonach die mittlere Geschwindigkeit der Quadratwurzel aus dem relativen Gefälle proportional sein soll, hat sich in neuster Zeit als durchaus unrichtig erwiesen. Die Beobachtungen, welche sowol an grofsen Strömen, als an kleineren Flüssen, Bächen und Canälen angestellt sind, zeigen jedesmal, dafs man eine höhere Wurzel des Gefälles wählen mufs. Indem ich die sämmtlichen sehr verschiedenartigen, mir vorliegenden Beobachtungen zusammenstellte, und daraus einen möglichst einfachen Ausdruck suchte, so stellte sich als der wahrscheinlichste heraus

$$c = 4{,}33 \sqrt{\frac{q}{p}} \sqrt[6]{\frac{h}{l}}$$

wobei alle Gröfsen in Rheinländischen Fufsen ausgedrückt sind. *) Im zweiten Theile dieses Werkes, der von den Strömen handelt, soll die Herleitung dieses Ausdrucks und die Sicherheit desselben näher erörtert werden, ich bemerke aber vorläufig, dafs die Quadratwurzel des relativen Gefälles sich nur rechtfertigen würde, wenn letzteres allein auf die Darstellung der mittleren Geschwindigkeit verwandt würde, und sonstige innere Bewegungen nicht vorkämen, die doch niemals fehlen, und die mit zunehmender Geschwindigkeit, also mit wachsendem Gefälle um so gröfser werden. Die einzelnen zum Grunde gelegten Beobachtungsreihen schliefsen sich freilich theils an höhere, theils an niedrigere Wurzeln etwas besser an, die Sicherheit der gefundenen Exponenten war jedoch nicht so grofs, um denselben für gröfsere und kleinere Wasserläufe verschiedene Werthe zu geben.

Legt man den vorstehenden Ausdruck zum Grunde, so ergiebt sich für dasselbe Zahlenbeispiel

*) Ueber die Bewegung des Wassers in Strömen, aus den Abhandlungen der Academie der Wissenschaften besonders abgedruckt. Berlin 1868.

$$x = 1{,}91$$

und hiernach wäre die obere Breite des gröſseren Profiles 86,0 Fuſs, die des kleineren 28,6 und die Tiefe beider gleich 3,8 Fuſs.

§. 27.
Abzugsgräben.

Gemeinhin sind die absoluten Gefälle der Abzugsgräben, durch welche die Niederungen entwässern, nur sehr geringe, und es kommt daher darauf an, sie so anzuordnen, daſs sie dennoch möglichst wirksam sind. Wenn der Ausdruck

$$c = k\sqrt{\frac{q}{p}}\sqrt[6]{\frac{h}{l}}$$

wieder zum Grunde gelegt wird, worin k den constanten Factor bezeichnet, und man die mittlere Geschwindigkeit c, die Wassermenge M und den Inhalt des Profiles q nennt, auch die mittlere Tiefe

$$t = \frac{q}{b}$$

einführt, indem b die Breite des Wasserspiegels bedeutet, wofür man annähernd auch den benetzten Umfang p setzen kann, so erhält man das absolute Gefälle

$$h = \frac{1}{k^6} \cdot \frac{M^6\, l}{b^6\, t^9}$$

Den Werth dieses Ausdrucks kann man verkleinern,

1) indem man M oder die Wassermenge vermindert. Hiervon ist im Vorigen bereits die Rede gewesen,
2) indem l oder die Länge des Canales verringert wird. Auch hierüber ist Einiges schon angedeutet worden, und es mag nur noch darauf aufmerksam gemacht werden, daſs nach Ausweis der vorstehenden Formel das absolute Gefälle in demselben Maaſse vermindert wird, wie sich die Länge des Canales verkürzt,
3) durch Vergröſserung der Breite des Canales und
4) durch Vergröſserung der Tiefe desselben.

Die beiden letzten Mittel sind in Bezug ihrer Wirksamkeit auch ihres sonstigen Einflusses einander nicht gleich, denn wenn man die

Breite des Canales verdoppelt, so ist für dieselbe Wassermenge das absolute Gefälle noch achtmal gröfser, als wenn man die Tiefe verdoppelt hätte. Aufserdem wird durch die Vergröfserung der Breite eine entsprechende Fläche Landes der Cultur entzogen, was bei der Vermehrung der mittleren Tiefe nicht geschieht. Durch letztere erreicht man auch noch den Vortheil, dafs der Pflanzenwuchs minder stark zu sein pflegt, als in einem flachen Graben. Es läfst sich indessen die mittlere Tiefe des Grabens nicht willkührlich vergröfsern, auch darf man die vorstehende Formel nicht mehr anwenden, sobald die Tiefe einen namhaften Theil der Breite ausmacht, also die Breite nicht mehr dem benetzten Umfange gleich gesetzt werden kann. Besonders ist hierbei zu berücksichtigen, dafs die Seitenwände des Canales sich nicht steil erheben, vielmehr nach der Beschaffenheit des Bodens mehr oder minder flach abgeböscht werden müssen. Nur in festem Thonboden pflegt die 1½fache Anlage oder 1½füfsige Böschung zu genügen, während man gewöhnlich die 2 oder 3fache und oft eine noch flachere Anlage wählen mufs. Wenn also die Breite der Canal-Sohle auch nur der sechsmaligen gröfsten Tiefe gleich ist, so kann die mittlere Tiefe äufsersten Falles nur dem 11ten Theil der Breite des Canales im Wasserspiegel gleich sein. Nimmt man zwischen diesen beiden Gröfsen, oder zwischen t und b ein bestimmtes Verhältnifs an, so braucht man nur eine dieser Dimensionen als Unbekannte einzuführen.

Wenn kein fremdes Wasser in den Sumpf tritt, also die abzuführende Wassermenge allein von dem darin niedergefallenen Regen und Schnee herrührt, so läfst sich dieselbe nach den §. 3 gemachten Mittheilungen annähernd berechnen. Bei Anordnung der Abzugsgräben mufs man jedoch darauf Rücksicht nehmen, dafs die Fläche schon im April vollständig trocken gelegt, und sonach bis zu dieser Zeit die ganze Wassermenge abgeführt sein mufs, die hier angesammelt war, und wegen des Frostes oder des höheren Wasserstandes im Flusse während des Winters und des ersten Frühjahrs nicht entfernt werden konnte. Die Gräben erhalten daher wenigstens eine solche Profilweite, dafs sie während eines Monats den vierten Theil des jährlichen Niederschlages abzuführen im Stande sind. Beträgt die Höhe des letzteren 24 Zoll, so würden von der Quadratmeile 288 Millionen Cubikfufs in einem Monate, oder in der Secunde 110 Cubikfufs durch den Hauptgraben abfliefsen müssen.

Von wesentlichem Einfluſs ist ferner die Lage des Haupt-Entwässerungsgrabens. Derselbe muſs wo möglich ungefähr in der Mitte den Sumpf durchschneiden, damit den Nebencanälen ein hinreichendes relatives Gefälle gegeben werden kann, welches durch Verlängerung derselben sich vermindern würde. Aus dem gleichen Grunde darf auch der Hauptcanal keine überflüssige Länge haben, und muſs also möglichst gerade gezogen werden. Von besonderem Einflusse ist hierbei aber die Höhenlage des Terrains. Insofern nämlich der Graben die ganze versumpfte Gegend entwässern soll, so muſs er niedriger liegen, als jeder Theil derselben, daher ergiebt sich seine Richtung, wenn man die gröſste Vertiefung nach der Länge des Sumpfes verfolgt, oder wenn man die tiefsten Punkte der Querprofile mit einander verbindet. Nach der ersten Bedingung darf man nicht alle scharfen Krümmungen verfolgen, die den Canal leicht auf eine nachtheilige Art verlängern könnten, wogegen die Einführung sanfter Biegungen nicht nachtheilig ist und für die Erdarbeiten oft eine groſse Erleichterung gewährt. Prony führt bei der Bestimmung dieser Linie eine andere Betrachtung ein, die zu demselben Resultate führt. Er sagt nämlich, man solle diejenige Richtung wählen, in der die stärkste Strömung sich bildet, wenn das Terrain mit Wasser bedeckt ist und die Auswässerung eintritt.

Die vorstehende Regel findet indessen keine Anwendung, wenn man einzelne besonders tief liegende Flächen trocken legen will. Diese würden vom Hauptgraben getroffen werden, und sonach alles Wasser der Niederung aufnehmen. Für sie ist aber der Zufluſs aus den höheren Theilen der Niederung schon als fremdes Wasser anzusehn, und der Zutritt desselben erschwert ihre Entwässerung. Man muſs sie also durch Deiche umschlieſsen und ihnen besondere Abzugsgräben geben, gewöhnlich fehlt es aber an dem nöthigen Gefälle, um sie trocken zu legen, und es bleibt alsdann nur übrig, Schöpfmaschinen zu diesem Zwecke anzuwenden. In der Provinz Holland ist dieses wiederholentlich geschehn.

Die Seitengräben, oder die Canäle zweiter Ordnung folgen dem natürlichen Abhange, den die Niederung von dem Rande aus nach der tiefsten Einsenkung hat, woselbst der Hauptentwässerungsgraben angelegt ist. Gemeinhin erlaubt die Beschaffenheit des Terrains, ihnen ein stärkeres Gefälle zu geben, als der letztere erhalten darf. Man legt sie aber nicht in diejenige Richtung, in welcher die

Wiesenfläche geneigt ist, und dieses theils deshalb, weil sie alsdann weniger Wasser aufnehmen würden, insofern sie den natürlichen Lauf desselben nicht kreuzen, theils aber auch, weil sie durch eine mehr schräge Richtung die Länge des Weges, den das Wasser verfolgen mufs, etwas verkürzen und dadurch ein stärkeres relatives Gefälle erhalten. Für den Fall, dafs die Wiesenfläche normal gegen den Hauptcanal geneigt ist, kann man leicht diejenige Richtung des Seitencanals finden, die dem stärksten Gefälle entspricht. Die Neigung der Thalfläche gegen den Hauptcanal sei $1:n$ und das Gefälle des letzteren $1:m$. Alsdann ist das relative Gefälle des Seitencanales, der in der Horizontal-Projection unter dem Winkel α in den Hauptcanal tritt

$$= \frac{1}{n} \operatorname{Sin} \alpha + \frac{1}{m} \operatorname{Cos} \alpha$$

Dieser Ausdruck wird ein Maximum, wenn

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{m}{n}$$

Die Entfernung dieser Seitengräben von einander richtet sich nach dem Nutzen, den das ganze Unternehmen verspricht, und sonach nach den Kosten, die man darauf verwenden kann. Im Allgemeinen legt man die Gräben um so weiter auseinander, je länger sie sind und je gröfser ihr Profil ist. In den Niederungen an der Rhone sind sie 150 bis 300 Ruthen entfernt, in den Maremmen bei Castiglione in Toscana, sowie auch in den Pontinischen Sümpfen, mifst ihr Abstand ungefähr 400 Ruthen, und wo sie in den eingedeichten Marschen des nördlichen Deutschlands und in Holland einigermaafsen regelmäfsig vorkommen, liegen sie durchschnittlich in Entfernungen von etwa 300 Ruthen.

Bei gröfseren Entsumpfungen genügen die Entwässerungscanäle der ersten und zweiten Ordnung noch nicht, und man mufs deren noch andere ausführen, welche in die Seitencanäle münden, also mit den Hauptcanälen parallel laufen. Ueber diese ist hier nichts zu bemerken, da sie lediglich nach ökonomischen Rücksichten angeordnet werden und ihre Ausführung in der Regel auch nicht in den Hauptplan aufgenommen wird, sondern dem Besitzer jedes Grundstücks überlassen bleibt.

Es ist noch zu erwähnen, dafs der Wasserspiegel in den Gräben 1 bis $1\frac{1}{2}$ Fufs unter dem Terrain gehalten werden mufs, wenn

eine geregelte Grasnutzung stattfindeu soll, 2½ Fuſs, wenn man Feldfrüchte bauen will, während die Cultur von Obstbäumen eine Senkung des Wasserspiegels von wenigstens 4 Fuſs erfordert.

Die Ausführung der Entwässerungsgräben ist wegen der sumpfigen Beschaffenheit des Bodens gemeinhin sehr schwierig, und nicht leicht kann man sie in ihrer vollen Tiefe gleich Anfangs darstellen, wie bei Schiffahrtscanälen geschieht. Man beginnt die Arbeit, indem man in der Richtung des Hauptcanales und zwar der Richtung des Stromes entgegen diejenigen Erhebungen des Terrains durchsticht, welche vorzugsweise den Abfluſs des Wassers hemmen, man bewirkt dadurch sogleich einige Senkung des Wasserspiegels und kann alsdann die Gräben leichter vertiefen, doch vergehn oft Jahre, bevor man das Wasser soweit gesenkt hat, daſs die volle Tiefe den Gräben gegeben werden kann. Zuweilen befördert auch die Strömung, die sich in dem Hauptcanale darstellt, dessen Verbreitung und Vertiefung. So ist der Canal zwischen dem Wallenstädter und Züricher See nur in einzelnen kurzen Strecken ausgegraben worden, weil der Wasserzudrang so stark war, daſs man die Hoffnung aufgeben muſste, eine längere Zeit hindurch eine Baugrube wasserfrei zu halten. Man bemühte sich nur, durch Anstellung so vieler Arbeiter, wie darin irgend Platz fanden möglichst schnell die Tiefe darzustellen. So bildeten sich einzelne Gruben, die nicht nur durch Erddämme, sondern oft auch durch versunkene Baumstämme und Steine von einander getrennt waren. Die Strömung war indessen stark genug, um solche Gegenstände zu beseitigen. Zu diesem Zwecke wendete man hier auch das Bohrruder an, welches Fig. 123 zeigt. Es ist unten mit Eisen beschlagen und mit einem stählernen Dorn versehn. Indem man es um den letzteren dreht, so dringt es tief in den Boden ein und lockert denselben so sehr, daſs er um so leichter vom Strome fortgeführt wird, und dadurch Baumstämme und Steine freigelegt werden.

In andern Niederungen, wo der Boden weicher ist, ist es nicht sowol der starke Wasserzudrang, welcher die Arbeit erschwert, als vielmehr die geringe Consistenz der Oberfläche. In England stellt man die Arbeiter aus diesem Grunde auf einen aus Brettern gebildeten Rahmen und giebt ihnen lange Spaten, damit sie von diesem Standpunkte aus recht tief graben können. Hierbei ereignet es sich häufig noch, daſs der stark durchnäſste Boden selbst in flachen Dossirungen nicht steht

und sonach die Wände des Canales einstürzen. Es bleibt alsdann nichts übrig, als entweder den Zeitpunkt abzuwarten, bis nach und nach durch die Senkung des Wasserpiegels das Erdreich so weit ausgetrocknet ist, dafs man regelmäfsige und tiefe Gräben darstellen kann, oder man läfst die Baustellen voll Wasser laufen und bewirkt ihre Vertiefung nicht mehr durch Grabenarbeit, sondern durch Baggerung. Wählt man das letzte Mittel, so bleiben die Dossirungen dem Gegendrucke des Wassers ausgesetzt und leiden weniger.

Die ausgegrabene oder ausgebaggerte Erde wirft man gewöhnlich unmittelbar zur Seite des Grabens aus, und da es wichtig ist, feste Ufer zu schaffen, damit man den Graben mit Leichtigkeit untersuchen und die etwa nöthigen Aufräumungen darin vornehmen kann, so rechtfertigt sich auch in dieser Beziehung eine solche Anordnung. Andrerseits aber wird durch die Beschwerung des äufsern Uferrandes die Dossirung um so leichter herausgedrängt, und der Einsturz der Erde veranlafst. Man mufs in solchem Falle die ausgebrachte Erde gleichmäfsig weit verbreiten, damit sie an keiner Stelle einen starken Druck verursacht. Doch auch in andern Fällen mufs man sich hüten, förmliche Deiche darzustellen, wodurch ein Abfliefsen des Wassers aus dem Sumpfe nach dem Graben verhindert würde, oder wenn sich dieses wegen der nöthigen Höhenlage der Wege nicht vermeiden läfst, so mufs man Durchlässe anbringen. Die letzte Regel findet nur so lange Anwendung, als der Graben noch innerhalb des zu entwässernden Terrains sich befindet, sobald er dieses verlassen hat, müssen alle Seitenzuflüsse gesperrt werden.

Bei Ausführung der Abzugsgräben werden die Arbeiter wegen des dauernden Aufenthalts auf dem nassen Boden und wegen des Einathmens der Sumpfluft häufig von Krankheiten und namentlich von Fiebern befallen. Durch gehörige Einleitung der Arbeit und Sorge für die Mannschaft läfst sich indessen dieses grofsentheils vermeiden. Die Vorsichtsmaafsregeln, die Sommariva bei Trockenlegung des Sumpfes von Coquenard anwendete und die er für ähnliche Fälle empfiehlt, sind folgende: 1) man soll die Arbeit in trockner Jahreszeit unternehmen, 2) in das stehende Wasser sobald wie möglich einige Bewegung bringen, 3) dieselben Arbeiter nicht mehrere Tage hindurch graben, was immer das gefährlichste ist, sondern sie abwechselnd auch karren lassen, und 4) dafür sorgen, dafs sie auf sumpfigen Stellen nie ausruhen, sondern während der Ruhezeit im-

mer auf höhere Punkte gehn, auch dort ihre Mahlzeiten einnehmen, dafs sie aber während der Nacht sich ganz aus dem Bereiche des Sumpfes entfernen müssen. Wenn hierdurch auch die eigentliche Arbeitszeit um einige Stunden gekürzt wird, so ist diese Vorsicht nicht nur durch die Humanität geboten, sondern auch in ökonomischer Beziehung gerechtfertigt, da eines Theils die Leistungen von kranken Arbeitern sehr geringe ausfallen und man andern Theils die Leute, wenn sie sich durch die angewiesenen Verrichtungen Krankheiten zugezogen haben, nicht ohne Unterstützung fortschicken kann. Es ist aber nothwendig, dafs diese Sorge von dem aufsichtsführenden Baumeister ausgeht, da die Arbeiter selbst entweder aus Unkenntnifs der Gefahr, oder aus Ueberschätzung ihrer Kräfte durch blofse Warnungen nicht vermocht werden, eine Vorsichtsmaafsregel anzuwenden, die mit einer Schmälerung ihres Verdienstes oder mit weiten Gängen oder andern Unbequemlichkeiten verbunden ist.

§. 28.
Colmationen.

Zuweilen liegt der Sumpf, der entwässert werden soll, so niedrig, dafs die Senkung des Wasserspiegels bis unter seine Oberfläche nicht möglich ist. In diesem Falle finden Colmationen oder künstliche Erhöhungen des Bodens Anwendung.

Die einfachste, doch zugleich auch die kostbarste Art der Colmation besteht darin, dafs man den Sand oder die sonstige Bodenart, die man zur Erhöhung des Sumpfes benutzen will, unmittelbar auf denselben aufkarrt. An der untern Lippe sind viele niedrige Wiesen hierdurch erhöht worden, und die Arbeit erleichterte sich daselbst einigermaafsen dadurch, dafs unmittelbar daneben die höheren sandigen Ufer liegen. Gewöhnlich wird aber das Wasser zur Herbeiführung des Sandes und des sonstigen Materials benutzt, und zwar entweder, indem man die Bäche gegen hohe Ufer führt, um dieselben anzugreifen und den Sand mit sich zu reifsen, oder man überläfst den Bächen und Flüssen die Zuführung des Materials und bemüht sich nur, dieses möglichst vollständig an denjenigen Stellen abzulagern, die man erhöhen will. Der erste Fall tritt bei der Darstellung der soge-

nannten Schwemmwiesen oder beim Wiesenflöfsen ein, und hiervon wird passender bei Gelegenheit der Wiesenwässerungen die Rede sein, der letzte Fall ist aber der wichtigste und derselbe wird vorzugsweise unter der Benennung Colmation verstanden.

Die Quantität der erdigen Stoffe, welche ein Flufs mit sich führt, hängt theils von der Beschaffenheit des Terrains und theils von der Strömung ab. Es sind sonach nicht alle Flüsse zur Colmation gleich brauchbar. Vorzüglich sind Gebirgsflüsse, die nicht auf nackten Felsen ihre Quellen sammeln, hierzu geeignet, jedoch auch diese nicht dauernd, sondern nur während der Zeit der stärksten Anschwellungen, denn bei trockner Witterung pflegen sie zu versiegen oder stellenweise so schwach zu fliefsen, dafs sie schon in ihren Betten alles Material fallen lassen.

Hiernach beschränkt sich die Zeit der Colmationen immer nur auf wenige Tage. Die Anlagen, die hierbei in Anwendung kommen, beziehn sich zunächst darauf, dafs man den Flufs an diejenige Stelle leitet, wo die Aufhöhung eintreten soll. Zu diesem Zwecke müssen regelmäfsige Betten mit möglichst gleichmäfsigem und nicht zu geringem Gefälle eingerichtet werden, damit der Flufs darin eine starke Geschwindigkeit behält. Es darf aber das Flufswasser, welches zur Colmation benutzt wird, nicht über ein Wehr oder auch nur über eine erhöhte Schwelle fliefsen, weil die gröbern Stoffe davor liegen bleiben würden, vielmehr mufs die geneigte Sohle sich ohne Unterbrechung bis in die zu erhöhende Fläche fortsetzen.

Sodann mufs das trübe Wasser, wenn es diese Stelle erreicht hat, möglichst in Ruhe kommen. Zuweilen werden zu diesem Zwecke nur einzelne Hindernisse der Bewegung entgegengestellt, wie Strauchzäune u. dergl., wodurch die Geschwindigkeit nicht ganz zerstört, sondern nur vermindert wird. Der Erfolg beschränkt sich alsdann aber nur darauf, dafs man das gröbere unfruchtbare Geschiebe auffängt, während die feinen im Wasser schwebenden Theilchen, welche in der Regel der Vegetation besonders förderlich sind, fortgeführt werden. Doch auch in quantitativer Beziehung ist dieser Verlust keineswegs unbedeutend, und sonach ist die andre Methode, wobei das Wasser grofse mit Deichen umgebene Bassins füllt und vollständig geklärt daraus wieder abfliefst, viel wirksamer und zugleich in den spätern Erfolgen viel günstiger. Wird aus diesen Bassins nach einiger Zeit das Wasser abgelassen, oder fliefst es schon wäh-

rend des Zuflusses aus, so muſs dieses immer auf eine Art geschehn, die derjenigen entgegengesetzt ist, durch welche es aus dem Fluſsbette hineingeleitet wurde. Beim Austritt aus der Colmation muſs nämlich der Abfluſs möglichst nahe an dem Wasserspiegel erfolgen, um die Stoffe, die sich bereits zu Boden gesetzt haben, nicht wieder in Bewegung zu bringen. Man läſst also das Wasser über Wehre abflieſsen, und selbst wenn Grundablässe angebracht werden, die man zur vollständigen Trockenlegung nicht entbehren kann, so dürfen diese nicht durch Schütze geschlossen sein, welche beim Oeffnen eine starke Strömung unmittelbar über den Boden veranlassen würden, sondern man bedient sich der Versatzbohlen, von denen man nach Maaſsgabe der Senkung des Wasserspiegels eine nach der andern und zwar jedesmal die oberste abhebt, bis endlich das klare Wasser von der ganzen Fläche abgeflossen ist.

Auf solche Art werden einzelne Theile der Niederung erhöht, man geht aber mit diesen Anlagen von oben nach unten oder stromabwärts fort, und wo die Erhöhung bereits erfolgt ist, giebt man dem Flusse, der hier in höhere Ufer eingeschlossen werden kann, einen solchen Lauf, daſs er alles Geschiebe wieder den weiter abwärts belegenen Flächen zuführt. Ist endlich die ganze Niederung zur beabsichtigten Höhe angewachsen und sind keine Vertiefungen darin zurückgeblieben, so darf das Material, welches der Fluſs auch ferner mit sich führt, nicht zur Verwilderung seines Bettes in der nächsten Strecke Veranlassung geben, weil sonst der Wasserspiegel in der bereits gewonnenen Fläche sich wieder heben würde.

Colmationen sind bisher vorzugsweise in Italien zur Ausführung gekommen, beispielsweise in dem Chiana-Thale, dasselbe erstreckt sich zwischen den Städten Arezzo und Orvieto beinahe in der Richtung von Norden nach Süden, und bildet eine natürliche Verbindung der Fluſsgebiete des Arno und der Tiber. Die gröſste Höhe erreicht dieses Thal gegenwärtig auf der Südseite des Sees von Chiusi, es ist indessen dieser Scheitelpunkt künstlich dargestellt und dieses zeigt nicht nur das Längenprofil Fig. 125, sondern der Name des nahe gelegenenen Städtchens Chiusi deutet auch darauf hin und verschiedene historische Ueberlieferungen stellen die Thatsache auſser Zweifel. Die Wasserscheide zwischen dem Arno und der Tiber lag in früherer Zeit mehr nordwärts. Die italienischen Schriftsteller versetzen dieselbe in die Nähe von Fojano und sogar bis Porto di

Pilli bei Arezzo. Der Beweis dafür wird aus einer alten Charte entnommen die Julius von Medici (später Clemens VII.) im Jahre 1551 aufnehmen liefs und worin mitten durch den See von Monte-Pulciano ein Weg angedeutet ist, der nach der beigeschriebenen Bemerkung früher von Arezzo nach Chiusi führte. *) Nach einzelnen Andeutungen älterer Schriftsteller hat man sogar der Ansicht Raum gegeben, dafs der Arno sich in früherer Zeit bei Arezzo in zwei Arme theilte, von denen der eine bei Florenz vorbei seinen jetzigen Weg verfolgte, während der andere durch das Chiana-Thal von Norden nach Süden der Tiber zuströmte und auf solche Art eine schiffbare Verbindung zwischen Florenz und Rom bildete. **) Man mufs billig Anstand nehmen, diese Vermuthung als Thatsache gelten zu lassen, auch Prony erklärt sich dagegen, doch ist von einem Eingriffe in den natürlichen Lauf des Flusses schon sehr frühe die Rede gewesen. Tacitus ***) erzählt, dafs man im Senate den Antrag machte, den Clanis (Chiana) von der Tiber abzuschliefsen und dem Arno zuzuweisen, um die Anschwellungen der Tiber zu mäfsigen, dafs aber den Bitten der Florentiner Gehör gegeben wurde und damals Alles beim Alten blieb. Nichts desto weniger ist dieser Abschlufs in späterer Zeit wirklich zur Ausführung gekommen, wiewohl es unbekannt ist, wann dieses geschah, und so bildete sich bei Chiusi der Scheitelpunkt, von wo ab die Chiana nunmehr auf 6 Meilen Länge nordwärts ihrem natürlichen Gefälle entgegenfliefst. Wie man sich indessen auf der Südseite gegen das Wasser zu schützen suchte, so geschah dieses auch auf der Nordseite. Neben dem Mönchskloster am Ausgange des Chiana-Thales bei Arezzo erbaute man nämlich ein 38 Fufs hohes Wehr, wodurch das Thal in solchen Zustand versetzt wurde, dafs Dante und Boccaz es erwähnen, wenn sie eine ungesunde und verpestete Gegend bezeichnen wollen. Unter der Regierung der Medici wurde die Aufmerksamkeit auf diesen unglücklichen Landstrich ernstlich gerichtet. Die bereits erwähnte Charte, worin auch die Höhenlage

---

*) *Charte idrauliche dello stato antico e moderno della valle di Chiana, di Manetti. Firenze* 1823. Die kurze Beschreibung, die den schönen Charten beigefügt ist, ist überaus lehrreich und in technischer Beziehung sehr interessant. Fig. 124 ist eine Copie dieser Charte in kleinerem Maafsstabe.

**) *Extrait des recherches sur le système hydraulique de l'Italie par de Prony. Annales des ponts et chausées* 1834. *II. p.* 384.

***) *Annalium liber I.*

mancher Punkte angegeben ist, sollte zur Entwerfung des Meliorationsplanes dienen. Nach dieser Charte fand sich zwischen Fojano bis gegen das Mönchskloster, Arezzo gegenüber, die Scheitelstrecke und hier war stehendes Wasser, so dafs man kaum eine Bewegung nach der einen oder der andern Seite wahrnehmen konnte. Torricelli bezeichnete schon die Colmationen als das einzige Auskunftsmittel, das hier zu wählen sei. Er meinte, der Boden läge in der weiten Ausdehnung gar zu horizontal, als dafs man durch Abzugsgräben allein ihn trocken legen könnte, doch setzte er hinzu, dafs „die Nebenflüsse Goldsand dem Thale zuführen," wodurch er den Segen andeuten wollte, den die gehörige Auffangung und Ablagerung desselben in der versumpften Gegend verbreiten würde. Das Unternehmen wurde indessen damals bald aufgegeben und erst gegen das Ende des vergangenen Jahrhunderts entwarf Fossombroni den Plan zur Melioration *). Die frühern Verhältnisse hatten sich indessen wesentlich geändert. Die Thalsohle war seit 1551 stellenweise um 37 Fufs erhöht. Die Bedingung, die Fossombroni sich stellte, war, einen regelmäfsigen Abflufs in nördlicher Richtung zu bilden und durch Colmationen den Boden so weit zu erhöhen, dafs die Chiana oder vielmehr der neue Canal das ganze Thal entwässern könnte. Dieser Canal sollte aber hinreichendes Gefälle erhalten, um in späterer Zeit, wenn das Material zu solchem Zwecke nicht mehr gebraucht würde, dasselbe weiter stromabwärts bis unter das Wehr am Mönchskloster zu führen, und dadurch dem Entstehn neuer Versumpfungen im Thale vorzubeugen. Unter diesem Gesichtspunkte wurde die Arbeit auf Kosten der Regierung begonnen. Die Situations-Charte Fig. 124 und das Profil Fig. 125 auf Taf. X. zeigen den Zustand im Jahre 1823, wo zwar noch eine Menge Colmationen im Betriebe, aber doch schon die meisten Flächen cultivirt und bebaut waren. Der Grund und Boden, der, wie es scheint, gar keinen Besitzer hatte, wurde Domaine, und eine Menge Ansiedlungen erfolgte in diesen Gegenden, die früher unbewohnbar gewesen waren. Die Versumpfungen erstrecken sich indessen noch weiter südwärts, als die Charte angiebt, und so waren mit Einschlufs desjenigen Thei-

---

*) *Memorie idraulico storiche sopra la Val di Chiana*, in der *Raccolta* 1789 mitgetheilt und 1823 zu Bologna besonders gedruckt.

les, der zum Kirchenstaate gehört, etwa 8 Quadratmeilen culturfähiger Boden zu gewinnen.

Die Colmationen, deren passendste Einrichtung sich erst durch die Erfahrungen herausstellte, die man hier machte, wurden folgendermaafsen angeordnet. Man umschlofs die zu erhöhenden Flächen einzeln mit Erddeichen, und zwar gab man den letzteren wo möglich sogleich die ganze Höhe, die sie zur beabsichtigten Erhebung des Terrains brauchten, das heifst, man machte sie etwa 2½ Fufs höher als der Boden werden sollte. In den Fällen aber, wo der Boden noch sehr niedrig war, gab man ihnen eine geringere Höhe und erhöhte sie später. Sie erhielten eine Kronenbreite von 4½ Fufs und auf jeder Seite Dossirungen, die unter 45 Graden geneigt waren. Die Gröfse der Bassins bestimmte man nach der Breite der Flüsse, welche sie füllen sollten. Wenn diese Breite und zwar zur Zeit der Anschwellung die Einheit ist, so halten die Bassins 100 bis 300 Mal das Quadrat dieses Maafses, nämlich für

den	Esse,	dessen Breite	25½	Ruthen mifst, das	150fache
-	Foenna	-	31	-	300 -
-	Salarco	-	18½	-	200 -
-	Salcheto	-	15	-	80 -
-	Parce	-	18	-	100 -

Häufig legt man mehrere dieser Bassins hinter einander, und läfst bei starkem Zuflusse das Wasser aus dem einen in das andere Bassin treten, um die feineren Stoffe, die es in jenem noch nicht abgesetzt hatte, in diesem vollends niederzuschlagen. Wenn die Bassins aber dem herrschenden Winde sehr ausgesetzt sind, so mufs man sie schon durch ähnliche Erddeiche in mehrere kleinere zertheilen, damit nicht etwa der Wellenschlag eine zu starke Bewegung hervorbringt.

Der Flufs wird in einem eingedeichten Canale, der beim Kreuzen von Abzugsgräben immer über den letztern bleibt, in das Bassin geleitet. Er füllt dieses zur Zeit der Anschwellung bald an, und das Wasser würde über die Deiche strömen und dieselben zerstören, wenn man nicht für einen bestimmten Abflufs gesorgt hätte. Ein solcher heifst Regulator und wird durch eine Vertiefung im Deiche dargestellt. Damit indessen das überstürzende Wasser den Deich nicht angreift, so erhält derselbe dreifache Anlage und man deckt diese mit Faschinen aus, welche durch niedrige Flechtzäune

darüber befestigt werden. Fig. 126*a* und *b* zeigt diese Anordnung im Grundrisse und im Querschnitte. Die Krone des Regulators liegt etwa 2 Fuſs unter der des Deiches, und wenn der Deich bereits die volle Höhe hat, 6 Zoll über derjenigen Höhe, die das Terrain erhalten soll. Die Länge des Regulators ist im Allgemeinen etwas geringer als die Breite des Flusses, nämlich

für den	Esse . . .	18½	Ruthen
- -	Foenna . .	31	-
- -	Salarco . .	18½	-
- -	Salcheto . .	12½	-
- -	Parce . . .	15½	-

Liegen mehrere Bassins hinter einander, so führt der Regulator das Wasser aus dem ersten in das zweite, und in diesem Falle pflegt man ihn auch wohl zu theilen, damit eine leichtere und gleichmäſsigere Füllung erfolgt, wenn er aber den Ausfluſs aus dem letzten Bassin bildet, so kann man eine solche Theilung nicht vornehmen, ohne zwei verschiedene Abzugsgräben darzustellen und zu unterhalten, was die Kosten zu sehr vermehren würde.

Sobald das Hochwasser vorüber ist und das eingeschlossene Wasser während der nächsten 48 Stunden alle Stoffe, die es enthielt, vollständig fallen gelassen hat, so muſs dasselbe wieder entfernt werden. Zu diesem Zwecke dienen kleine Archen von 2 Fuſs Weite, welche durch Versatzbohlen geschlossen sind, die man eine nach der andern mittelst Winden aushebt. An jedem einzelnen Bassin befindet sich an einer passenden Stelle diese Vorrichtung und zwar mündet eine solche immer seitwärts und nie in ein folgendes Bassin. Sie werden aber nur leicht aus Holz erbaut, und sobald die Colmation an einer Stelle beendigt ist, an andern Bassins benutzt.

Manetti theilt das Gefälle, die Dauer der Anschwellungen und den Gehalt an erdigen Stoffen für die erwähnten fünf Flüsse mit. Der Gehalt an Erde ist dabei in Procenten ausgedrückt. Ueber die Wassermenge und die Anzahl der jährlichen Anschwellungen fehlen die Angaben.

	Gefälle	Dauer der Anschwellung	Gehalt an Erde
Esse	1:2010	3 Tage	3 Procent
Foenna	1:1707	3 „	5 „
Salarco	1: 596	1 „	9 „
Salcheto	1: 604	1 „	5 „
Parce	1: 494	2 „	3 „

§. 29.
Sickergräben.

Bei thonigem Boden bietet die Beseitigung des Wassers häufig insofern Schwierigkeiten, als dasselbe, wenn es eingedrungen ist, nur langsam sich ausscheidet. Offene Abzugsgräben sind dabei von wenig Nutzen (§. 7), weil ihre Wirksamkeit sich allein auf die nächsten Umgebungen beschränkt. Sie müſsten, wenn sie von Erfolg sein sollten, sehr nahe liegen, wodurch ein groſser Theil der zu entwässernden Fläche der Cultur entzogen würde. Das Mittel, welches man unter diesen Umständen wählt, ist die Anlage von Sickergräben (*Drains*), d. h. man bildet in solcher Tiefe, daſs die Benutzung der Fläche dadurch nicht gestört wird, ein Netz von kleinen Canälen, welche die feinen Wasseradern aufnehmen und abführen. In England sind Drainirungen schon seit Jahrhunderten vielfach ausgeführt, in neuerer Zeit haben sie auch bei uns allgemeinen Eingang gefunden.

Die vortheilhafte Wirkung der Drains beschränkt sich aber keineswegs darauf, daſs sie aus einem erweichten strengen Thonboden das Wasser abziehn, ihr wesentlicher Nutzen besteht vielmehr in der regelmäſsigen Durchführung des Wassers von der Oberfläche nach der Tiefe. Wie in einem Blumentopfe, der am Boden mit keiner Oeffnung versehn ist und durch den das Wasser auch nicht durchschwitzen kann, die Pflanzen nicht gedeihen, so ist derselbe Mangel auch bei Aeckern oft höchst nachtheilig. Diesem wird aber durch die Drainirung abgeholfen. Ohne sie verwandelt sich die Oberfläche leicht in eine für das Wasser undurchdringliche Schicht, der Regen

bleibt also darauf stehn, bis er seitwärts abfliefst oder verdunstet, und er dringt sonach nicht bis zu den Wurzeln des Getreides herab. In diesem Falle beseitigen die Sickergräben keineswegs die Feuchtigkeit, sondern sie führen sie den Pflanzen zu, und dabei tritt noch der günstige Umstand ein, dafs im Frühjahre der Regen auch den Boden in einiger Tiefe erwärmt und dadurch den Wachsthum wesentlich befördert.

Diese grofsen Vortheile wurden nach vielfachen ältern Erfahrungen zuerst in England anerkannt. Im Jahre 1847 bewilligte das Parlament über 50 Millionen Thaler an Grundbesitzer, welche zur Anlage von Drainirungen sich entschlossen. In dieser Zeit wurde die Art der Ausführung auch wesentlich verbessert.

Als man die Sickergräben noch sehr unvollkommen darstellte, versagten sie leicht ihren Dienst, und man mufste daher häufige Reparaturen in Aussicht nehmen. Aus diesem Grunde vermied man es, sie in grofse Tiefe zu legen. Eine Folge hiervon war, dafs ihre Wirkung sich auf die nächsten Umgebungen beschränkte, und man war daher gezwungen, ihre gegenseitige Entfernung auf 2 bis 3 Ruthen, zuweilen sogar nur von 18 Fufs zu beschränken. Aufserdem durfte man ihnen auch kein starkes Gefälle geben, weil eine heftige Strömung sie leicht zerstört haben würde. Wenn daher der Boden eine merkliche Neigung hatte, so zog man sie nicht in der Richtung, in welcher derselbe abfiel, sondern schräge dagegen, wobei man noch den Vortheil zu erreichen glaubte, dafs sie um so sicherer alle Wasseradern treffen und aufnehmen würden. Endlich bot auch die Sicherung ihrer Mündungen manche Schwierigkeiten, indem sie einzeln im niedrigeren Wiesengrunde am Fufse des Ackers austraten. Der besonders üppige Graswuchs, den sie hier veranlafsten, war Ursache, dafs das Vieh sich vorzugsweise daselbst aufhielt und die Gräben zerstörte, auch trieben die Sträucher und Bäume in der Nähe ihre Wurzeln hinein und verstopften sie. Man sah sich daher meist gezwungen, sie unter hohen Steinschüttungen austreten zu lassen.

Um einer stellenweisen Sperrung der Sickergräben zu begegnen, die bei der geringen Stärke der Erddecke darüber (die meist nur 2½ Fufs maafs) leicht möglich war, stellte man sie nicht sowol als freie Canäle dar, sondern bildete aus Steinen, Strauch und selbst aus Stroh poröse Stränge, durch welche das Wasser sich hindurchziehn mufste.

Gegenwärtig ist man hiervon zurückgekommen, und zieht allgemein die freien Canäle und zwar in gröfserer Tiefe vor, wo sie vor Beschädigungen gesichert sind. Die Art ihrer Darstellung ist sehr verschieden. Zuweilen wird dabei gar kein fremdes Material benutzt. Ein Stück Holz von 10 bis 12 Fufs Länge wird regelmäfsig etwas konisch geformt, so dafs es an dem hintern Ende 5 Zoll, und an dem vordern 6 Zoll im Durchmesser hält. In das stärkere Ende wird ein Haken eingeschlagen und daran eine Leine befestigt, womit man es weiter ziehn kann. Man legt es auf die Sohle des Grabens und bestreut es zunächst mit Sand, damit der feste Boden nicht zu stark daran haftet, alsdann bringt man eine dünne Lage steifen Thon auf, der den Sand festhält und zugleich die innere Fläche des künstlichen Erdgewölbes bildet. Man tritt diese Lage gehörig an und dasselbe geschieht mit allen einzelnen Schichten der folgenden Aufschüttung, so dafs man also unmittelbar diejenige feste Decke darstellt, die sich sonst nur später bilden würde. Endlich zieht man das Holz etwa 2 Fufs weit vor und setzt die Arbeit auf gleiche Art weiter fort, indem man die Ueberschüttung über der ganzen Länge des Holzkernes allmälig ansteigen läfst.

Sehr einfach ist auch das Verfahren, welches man in Lancashire anwendet, wobei nämlich der Graben einige Zolle über seiner Sohle mit schmalen Banketen versehn wird, auf welche man Torfstücke von 9 Zoll Höhe legt, welche sonach die Decke des Canales bilden. Statt des Torfes wendet man in gleicher Weise auch flache Steine an, wie Fig. 127 zeigt. Um jedoch einer Verschüttung des Canales durch die Fugen zwischen den Steinen vorzubeugen, mufs darüber noch eine grobe Kiesschüttung oder eine Strohlage angebracht werden, die man oft noch mit Rasen bedeckt.

Vortheilhafter ist es, wenn man Ziegel oder andere besonders zu diesem Zwecke gebrannte Steine benutzt, man kann alsdann auch leicht die Seitenwände des Canales mit solchen einfassen. Andere Methoden, wobei gleichfalls flache Steine zur Ueberdeckung und Umschliefsung der Gräben verwendet werden, zeigen die Figuren 128, 129, 131, 132 und 133. Dieselben Constructionen werden in England auch oft zur Trockenlegung von Strafsen gewählt.

Bei Anwendung des Strauches zur Darstellung freier Canäle ist die in Fig. 130 dargestellte Methode besonders häufig benutzt worden. Man schneidet nämlich kleine Stäbchen von etwa 15 Zoll Länge

und lehnt diese abwechselnd an die eine und die andre Wand des Grabens, so dafs sie sich in der Mitte kreuzen und unmittelbar berühren. Alsdann füllt man den obern prismatischen Raum mit Strauch, worüber Stroh gelegt wird, damit die aufgeschüttete Erde nicht hindurchfällt. Das untere dreiseitige Prisma bildet den eigentlichen Sickercanal.

In neuester Zeit ist man von den beschriebenen Constructionen abgegangen, und hat dafür eine andere gewählt, die in Bezug auf Dauer und Sicherheit des Erfolges unbedingt den Vorzug verdient. Jene Sickergräben, die mit vegetabilischen Stoffen überdeckt werden, bleiben nämlich nur so lange dem Drucke der darauf lastenden Erde entzogen, als diese Stoffe ihre Festigkeit behalten, und man mufs besorgen, dafs später gröfsere Erdklumpen sich lösen, oder auch feinere Massen hindurchfallen und die Canäle sperren.

Indem man eine dauerhaftere Construction wählt, so fällt auch der Grund fort, die Gräben möglichst hoch zu halten. Bei gröfserer Tiefe entzieht man sie aber nicht nur manchen Beschädigungen, sondern man senkt auch das Grundwasser, und indem die Wirksamkeit eines Sickergrabens sich zu beiden Seiten um so weiter erstreckt, je tiefer er liegt, so erreicht man noch den wesentlichen Vortheil, dafs die Anzahl der Gräben sich vermindert und sonach die ganze Anlage, der gröfseren Tiefe unerachtet, wohlfeiler wird. Auch eine kräftige Strömung wird bei der festeren Construction unschädlich, und man darf die Canäle in die Richtung der Abdachung des Bodens legen, wodurch ihre Wirksamkeit sich gleichfalls verstärkt.

Die in Fig. 131 dargestellte Anordnung bildet den Uebergang zur neuern Methode. Eine Schicht flacher gebrannter Steine, also Dachziegel oder Fliesen, stellt die Sohle des Canales dar, und zur Begrenzung an den Seiten, so wie zur Ueberdeckung dient eine Reihe von Hohl- oder Forstziegeln. Bei der grofsen Anzahl der erforderlichen Steine gab man ihnen bald passendere Formen, indem die Bodensteine mit einer flachen Rinne versehn, und die Decksteine in halbe Cylinder verwandelt wurden. Demnächst ersetzte man die ersteren durch die letzten, und bildete Canäle von kreisförmigem Querschnitt. Die horizontalen Fugen waren indessen sehr störend, weil theils leicht Sand und Erde durch sie eindrang, theils auch die obern Steine auf den schmalen Seitenwänden der untern nicht fest und sicher auflagen, und wenn sie sich beim Be-

schütten mit Erde verschoben und herabfielen, so sperrten sie einen grofsen Theil der Oeffnung. Hiernach ging man endlich dazu über, ganze Cylinder, nämlich die sogenannten Drainröhren, zu formen und zu brennen. Solche werden jetzt allgemein benutzt und sie haben sich bereits als sehr dauerhaft erwiesen, während zugleich der rinnenförmig gekrümmte Boden das durchfliefsende Wasser mehr zusammenhält und daher die zufälligen Ablagerungen leichter fortgespült werden.

Die einzelnen Röhrenstücke werden meist ohne weitere Verbinbindung nur stumpf an einander gelegt. Dabei kann es leicht geschehn, dafs der Sand durch die Stofsfuge dringt, und noch gröfser ist die Gefahr, dafs die kurzen Röhren beim Verlegen und Beschütten mit Erde etwas seitwärts rollen, so dafs ihre Oeffnungen nicht mehr genau auf einander treffen, und der Querschnitt der Leitung dadurch stellenweise beengt wird. Um dieses Rollen der Röhren zu vermeiden, hat man zuweilen versucht, sie mit einem breiten Fufse zu versehn, oder auch einen elliptischen Querschnitt ihnen zu geben. Beides kommt jedoch nur selten vor, dagegen benutzt man zuweilen weitere Ringe oder Muffen zur Ueberdeckung der Fugen, ähnlich denen, die auch bei eisernen Leitungröhren vorkommen, und Fig. 100 Taf. VII. dargestellt sind.

Indem die Röhren oft nur 1 bis 2 Zoll weit sind, so bedarf der Graben, in den man sie legt, keiner bedeutenden Breite, doch mufs diese so grofs sein, dafs ein Arbeiter darin noch stehn und gehn kann. Letzteres geschieht freilich nur sehr unbequem, indem er den einen Fufs immer voranstellt und den andern nachzieht. Die Grabensohle wird zu diesem Zweck 4 Zoll breit gemacht, und da sie mindestens 4 Fufs tief liegt, so ist das Verlegen der Röhren sehr lästig, besonders da man die Seitenwände möglichst steil halten mufs, um die Erdarbeiten nicht zu weit auszudehnen. Der Graben wird, nachdem seine Richtung und Breite abgesteckt ist, mit Spaten ausgestochen, und zwar sind diese von verschiedener Breite und Form, um in den verschiedenen Tiefen die Arbeit möglichst zu erleichtern. Man bedient sich auch mit Vortheil gewisser Pflüge, die indessen nur zum Auflockern, nicht aber zum Ausheben des Bodens dienen.

Nachdem der Graben an einer Stelle die volle Tiefe erhalten hat, und gehörig geebnet ist, so werden die Röhren darin sogleich verlegt. Der Arbeiter, der dieses thut, steht gemeinhin im Graben,

doch kann man die Röhren, wenn sie auf einen passenden Hacken gesteckt sind, auch von oben verlegen, obwohl dieses weniger sicher ist, weil die Röhren nicht nur auf einander treffen, sondern auch mit dem bestimmten gleichmäfsigen Gefälle verlegt werden müssen. Gemeinhin zieht man 2 bis 3 Röhrenstücke, deren Länge 12 bis 14 Zoll beträgt, auf einen dünnen Stab, und verlegt sie so, dafs dieser Stab noch in die bereits früher verlegte Röhre greift. Mit der Setzwage wird alsdann die Neigung untersucht, und die Grabensohle, soweit es nöthig ist, vertieft oder erhöht. Wenn die Röhren passend liegen, so drückt man sie fest an, überdeckt jeden Stofs mit einer Handvoll Heidekraut und bringt eine dünne Lage feinen und zähen Thon auf, der sogleich angetreten wird, um ein ferneres Verschieben der Röhren zu verhindern. Alsdann zieht man den Stab heraus, und beginnt die Verfüllung des Grabens. Auf diese Art wird der Graben keineswegs in gröfserer Länge auf einmal eröffnet, wodurch seine Wände stärker austrocknen und nachstürzen würden, vielmehr pflegt man die Erdarbeit so anzuordnen, dafs der Graben nur da, wo gerade die Röhren verlegt werden, die volle Tiefe hat, und er dahinter schon wieder verschüttet wird. Man pflegt aber die lockerste Erdschicht zum ersten Ueberdecken der Röhren zu verwenden, um das Durchsickern des Wassers zu erleichtern, und die compacten Schichten in den obern Theil des Grabens zu werfen. Die einzelnen Lagen stampft man etwas an, um ein späteres starkes Setzen zu vermeiden.

Was die Anordnung dieses Entwässerungs-Systems betrifft, so pflegt man im Allgemeinen anzunehmen, dafs die Canäle bei hinreichendem Gefälle so viel Ruthen von einander entfernt sein dürfen, als ihre Tiefe unter der Oberfläche Fufse mifst. Diese Regel gilt indessen mehr für leichten, als für strengen Boden. Je fester derselbe ist, um so geringere Entfernungen mufs man wählen. Leclerc sagt, er habe bei Besichtigung dieser Anlagen in England gefunden, dafs 4 Fufs tiefe Sickergräben bei verschiedenen Bodenarten in folgende Entfernungen gelegt werden:

in strengem Boden	22	bis	32	Fufs
wenn der Untergrund aus Kreide besteht . .	25	-	35	-
in Torf	35	-	45	-
in leichtem Thonboden	32	-	48	-
in sandigem Boden	48	-	64	-

Man giebt den Sickercanälen das stärkste Gefälle, welches das Terain gestattet, und betrachtet 1 : 500 oder auch wohl schon 1 : 400 als das schwächste, noch zulässige Gefälle. Ist die Fläche so eben, daſs man selbst bei Verfolgung des stärksten Abhanges dieses Gefälle nicht darstellen kann, so wählt man eine Anordnung, die dem Rückenbau für Ueberrieselungen ähnlich ist (§. 30). Man legt nämlich einen weiteren Sickercanal in gröſserer Tiefe mitten durch das Feld, der wegen der bedeutenden Oeffnung von 4 bis 6 Zoll Durchmesser nur eines geringen Gefälles bedarf, und läſst in diesen die kleineren Sickercanäle mit gehörigem Gefälle und in angemessenen Entfernungen von beiden Seiten eintreten.

Auch wenn das Terrain es gestattet, jeden einzelnen Sickergraben frei austreten zu lassen, so zieht man es doch vor, dieselben in eine gemeinschaftliche weitere Röhre zu führen, und zwar geschieht dieses in der Art, daſs die kleinern Röhren einige Zolle höher liegen, und durch die Decke in die weitere münden. Sie finden also einen freien Abfluſs, wenn letztere auch gefüllt ist. Die Verbindung bedarf keiner besondern Festigkeit, man wählt dazu entweder Röhren, die vor dem Trocknen gebogen waren, oder man benutzt auch kleine hölzerne Zwischenröhren. Diejenigen Röhrenstücke, welche unmittelbar in den Wiesengrund, oder in einen offenen Graben austreten, müssen wenigstens 2 Fuſs lang sein, damit die nächste Stoſsfuge in feste Erde trifft. Man pflegt in denselben noch ein Drahtnetz anzubringen, um das Eintreten der Mäuse und Ratten zu verhindern, die oft zur Sperrung der Canäle Veranlassung geben.

Diejenigen Röhren, welche unmittelbar das Wasser aus dem Acker auffangen, sind genügend weit, wenn ihre Oeffnung 1 Zoll im Durchmesser hält, doch erweitert man sie meist auf 1¼ oder 1½ Zoll, damit die unvermeidlichen Unregelmäſsigkeiten beim Verlegen nicht sogleich eine starke Verengung veranlassen. Die Länge des ganzen Stranges beträgt meist etwa 1000 Fuſs und bei starkem Gefälle nicht selten sogar 2000 Fuſs. Bei gröſserer Ausdehnung ist es aber vortheilhaft, sie in etwas weitere Röhren übergehn zu lassen, damit alles Wasser sicher gefaſst wird.

Es bedarf kaum der Erwähnung, daſs der Ausführung einer solchen Anlage eine sorgfältige Untersuchung der Höhenlage und der Beschaffenheit des Bodens, und die Bearbeitung eines vollständigen Projectes vorangehn muſs. Zunächst ist zu prüfen, ob man

das einfache System der parallelen Röhren wählen darf, oder ob es nöthig ist, gröſsere Abzugscanäle, in welche jene einmünden, dazwischen zu legen. Für jene, wie für diese muſs die Richtung und Höhenlage vollständig ermittelt werden, damit das erfordliche Gefälle sich überall bilden, und die ganze Anlage in kräftige Wirksamkeit treten kann.

Die Anfertigung der Drain-Röhren erfolgt in gröſseren Ziegeleien oder besondern Fabriken und zwar mittelst Maschinen, in welchen der steife Thon unter sehr starkem Drucke durch eine kreisförmige Oeffnung gepreſst wird, in welcher ein cylindrischer Kern schwebt. Letzterer wird vor der Oeffnung durch einen schmalen Arm gehalten. In dieser Art tritt die fertige Röhre aus der Maschine und wird in den Zwischenzeiten, wo der Druck aufhört, in den beabsichtigten Längen durch einen oder mehrere Drähte zerschnitten. Der hierbei zu verwendende Thon muſs von besonderer Güte auch möglichst sorgfältig bearbeitet und gereinigt sein, sowie auch das Trocknen und Brennen mit groſser Vorsicht erfolgen muſs, damit die Röhren den nöthigen Härtegrad erhalten, ohne ihre Form zu verändern.

§. 30.
Bewässerungsanlagen.

Die Bewässerung der Ländereien geschieht entweder durch Ueberstauung, oder durch Ueberrieselung. Die erstere ist vorzugsweise beim Getreidebau üblich, doch wendet man sie auch häufig bei Wiesen zur Beförderung des Graswuchses an, während die letztere sich allein auf die Wiesencultur beschränkt. Nach der ersten Methode wird in der geeigneten Jahreszeit das Feld einmal oder wiederholentlich unter Wasser gesetzt und bleibt einige Tage hindurch damit bedeckt, wobei theils eine starke Durchnässung des Bodens erfolgt, theils aber auch die erdigen Theilchen aus dem Wasser niederschlagen und dadurch zur Befruchtung wesentlich beitragen. Bei der Ueberrieselung wird dagegen über die Wiesenfläche eine möglichst gleichmäſsige Strömung geführt, die keineswegs den Rasen bedeckt, sondern die feinen Grasblättchen überall über das Wasser her-

vorragen läfst, so dafs man letzteres nur eben dazwischen durchschimmern sieht.

Dafs in beiden Fällen auch reines Wasser von Nutzen ist, ist nicht zu bezweifeln, da dieses ebenso wie der Regen wirkt. Wenn dagegen das Wasser nicht ganz rein ist, sondern einigen Schlamm mit sich führt, so ist es für die Ueberschwemmung um so nützlicher und wahrscheinlich auch für die Ueberrieselung, obwohl man häufig das Gegentheil behauptet. Eine starke Ablagerung erdiger Stoffe ist im letzten Falle freilich insofern nicht günstig, als dadurch die künstlich eingerichtete Wiesenfläche leicht so unregelmäfsig sich erhöht, dafs das Bewässerungssystem gestört wird, dagegen bemerkt man bei diesen Wiesen, wenn das Wasser auch ganz rein zu sein scheint, mit der Zeit ein Aufwachsen des Bodens, und sonach ist übereinstimmend mit den sonstigen Erfahrungen anzunehmen, dafs auch hier die feinen und kaum merkbaren Erdtheilchen einigen Einflufs auf die Vermehrung des Ertrages ausüben. Von welcher Art die im Wasser schwebenden Erdtheilchen sind, und ob sie für die beabsichtigte Cultur vortheilhaft oder vielleicht nachtheilig sein werden, mufs man, wenn nicht directe Erfahrungen vorliegen, näher untersuchen, damit man sich nicht etwa über die Verbesserung des Ackers täuscht, oder man ihn wohl gar durch das darüber geleitete Wasser verdirbt. Bélidor *) erzählt ein Beispiel des letzten Falles.

Die Bewässerungsanstalten zeichnen sich im Allgemeinen vor allen sonstigen hydrotechnischen Anlagen durch eine grofse Einfachheit aus. Sie bestehn gewöhnlich nur in kleinen Gräben und niedrigen Verwallungen, und die Stauwerke oder Schütze, die man zuweilen dabei benutzt, sind wegen der geringen Dimensionen wieder sehr einfache Bauwerke. Die grofse Anzahl und weite Ausdehnung solcher Anlagen, die sämmtlich eine fortdauernde Aufmerksamkeit und bei entstehenden Unregelmäfsigkeiten eine schleunige Ausbesserung erfordern, erschweren aber häufig in hohem Grade das Gelingen des ganzen Unternehmens. Der Landmann, der von der Bewässerung den Nutzen zieht, mufs selbst alle zugehörigen Anlagen controlliren und in gutem Stande erhalten, und darf nur in dem Falle einen Vortheil davon erwarten, wenn er dieses mit Liebhaberei und häufig thut. Ein einzelner Spatenstich, der zur rechten Zeit ge-

*) *Architecture hydraulique. Vol. IV. p.* 476.

macht wird, kann leicht grofsen Unordnungen vorbeugen, und so mufs diese Arbeit ganz in den Kreis der gewöhnlichen landwirthschaftlichen Verrichtungen übergehn, wenn sie ohne grofse baare Auslagen besorgt werden soll.

Was die Bewässerung durch Ueberstauung betrifft, so war diese Methode schon in dem frühesten Alterthume bekannt, indem ein Theil von Egypten seit dem Anfange der historischen Zeit ebenso bewässert wurde, wie dieses noch jetzt geschieht, nur sind die Anlagen, die man künstlich für diesen Zweck dargestellt hat, heut zu Tage nicht mehr sämmtlich in Wirksamkeit. Die natürlichen Anschwellungen des Nils setzen diese Bewässerungsanstalten in Thätigkeit. Sie bestehn in einer Menge von Coupirungen, welche in dem westlichen Arme des Nils, oder dem Josephs-Canale (*Bahr Jousef*) angelegt sind. Dafs dieser Arm künstlich ausgegraben sei, wie der Name es vermuthen läfst, darf man wohl bezweifeln, aber dennoch ist eine solche Stromspaltung, wie diese, vielleicht ohne ihres Gleichen. Auf 70 bis 80 Meilen Länge von Dendyra bis Cairo fliefsen nämlich die beiden Arme vielfach unter sich verbunden, doch in getrennten Betten in einem Abstande von 1 bis 2 Meilen parallel mit einander fort, und man mufs vermuthen, dafs diese Spaltung, welche für das Bewässerungssystem so wesentlich ist, durch Kunst vervollständigt und gesichert wurde. Der westliche Arm, der nur etwa 300 Fufs breit ist, während der eigentliche Nil oder der östliche Arm über 2000 Fufs Breite hat, heifst von Tharout es Sherif abwärts der Joseph-Canal, und von hier bis unterhalb Cairo, also auf drei Breitengrade zieht er sich ohne Unterbrechung fort und dient zum Bewässern des Landstriches, der zwischen ihm und dem eigentlichen Nil liegt. Jenseits des Nils konnte diese Bewässerung nicht ausgedehnt werden, weil der Fufs des Mokattam-Gebirges grofsentheils das Stromufer bildet. Auf der westlichen Seite des Josephs-Canales erheben sich gleichfalls die hohen Sandhügel, die von der Libyschen Bergkette herabgeweht sind, welche letztere auch nicht fern ist. Sonach ist das eigentliche Flufsthal Mittel-Egyptens auf den fruchtbaren Strich zwischen beiden erwähnten Flufsarmen beschränkt, und diesem Bewässerungssysteme verdankt derselbe allein seine Fruchtbarkeit. Das Terrain liegt hier so hoch, dafs es durch die natürlichen Anschwellungen des Nils nicht regelmäfsig inundirt werden

kann. Zu diesem Zwecke sind aber die vielfachen Durchdämmungen des Josephs-Canales ausgeführt, und in gehöriger Entfernung von denselben, Verbindungen mit dem Nil eröffnet. Vor jedem solchen Damme staut das Wasser bis zu derjenigen Höhe auf, welche der Wasserspiegel des Nils an der Einmündung des nächst oberhalb belegenen Verbindungscanales erreicht, also nach Maafsgabe des Gefälles steigt es mehrere Fufs über die natürliche Anschwellung des Stromes. So bilden sich treppenweise Bewässerungsbassins hinter einander, und vielfach werden die künstlichen Dämme durchstochen oder durchbrochen, wodurch sich nach und nach die grofse Wassermenge verliert, die aufgesammelt war, und sobald sie abgeflossen ist, ist der Boden nicht nur durchnäfst und gedüngt, sondern überhaupt so vorbereitet, dafs die Saat sogleich ohne Weiteres ausgestreut werden kann.

Das Steigen des Nils beginnt bald nach dem Sommersolstitium, also in den ersten Tagen des Julius. Am stärksten ist es im Anfange oder der Mitte des August, Mitte September hat das Wasser die gröfste Höhe, etwa 25 Fufs über dem kleinen Wasser, erreicht. Im October zeigt sich schon ein merkliches Fallen, November und December wird dieses am stärksten, doch erfolgt es viel langsamer als das Steigen. Im October durchsticht man schon die Dämme und eröffnet dadurch dem Wasser den Abflufs, worauf auch sogleich die Aussaat geschieht.

Von dem Josephs-Canale tritt etwa 12 Meilen oberhalb Cairo durch ein enges Thal in der Libyschen Bergkette ein Arm in die acht Meilen lange und stellenweise eben so breite fruchtbare Ebene el Fajoum, an deren nordwestlicher Seite sich der Möris-See hinzieht. Diese ganze Ebene wird auf dieselbe Art, wie der Landstrich zwischen den beiden Nilarmen, künstlich inundirt und sogar in einen zusammenhängenden See verwandelt, so dafs die Communication hier gänzlich aufhört. Nach Herodot's Erzählung flofs das Wasser aber nicht auf demselben Wege, auf dem es eingelassen wurde, wieder zurück, sondern es ergofs sich durch einen künstlich eröffneten nördlichen Abflufs nach Nieder-Egypten und diente auch hier zu Bewässerungen. Ein solcher nördlicher Abflufs ist aber gegenwärtig nicht vorhanden, vielmehr verschwindet das eingetretene Wasser nur durch Verdunstung.

In Nieder-Egypten endlich, oder in dem Nil-Delta, wo das Ge-

fälle zur Zeit des Hochwassers nur etwa $\frac{1}{10000}$ beträgt, wird das Wasser zwar auch durch Erddämme angespannt und dadurch so hoch gehoben, daſs es einen Theil der Ländereien bedeckt, doch bleiben die höherliegenden Striche davon gewöhnlich frei und können nur durch Schöpfmaschinen bewässert werden.

In der neuern Zeit ist das System der Bewässerung durch Ueberstauung am meisten im nördlichen Italien ausgebildet, und das Wasser, welches die von dem Südabhange der Alpen herabkommenden Flüsse führen, wird zu diesem Zwecke so vollständig benutzt, daſs man im Sommer während der Bewässerungen keinen Tropfen Wasser in den Fluſsbetten sieht. Das Terrain zeichnet sich hier durch seine horizontale Lage aus, der geringe Abhang nach dem Po ist kaum bemerkbar, und selbst die Felder sind so eben, daſs man auſser den künstlichen Erddämmen nicht die geringste Erhebung wahrnimmt. Diese Gestaltung der Oberfläche ist groſsentheils durch die gleichmäſsige Ablagerung des Materials, welches die Flüsse herbeiführten, veranlaſst worden, gewiſs aber haben die künstlichen Ueberschwemmungen auch zur Entfernung der kleineren Unregelmäſsigkeiten beigetragen, indem man solche durch Abgraben beseitigte, um jedes einzelne Feld vortheilhaft benutzen zu können.

Diese Ebene ist mit zahlreichen Gräben durchschnitten, welche, der allgemeinen Neigung des Terrains folgend, sich von Norden nach Süden hinziehn, und auf beiden Seiten von niedrigen Erddeichen eingeschlossen sind, welche die einzelnen Felder begrenzen. Jedes Feld ist ringsum mit einem solchen Deiche eingefaſst, und ein kleines Schütz von einigen Quadratfuſs Fläche, daſs zwischen steinernen Griessäulen und auf einer Steinschwelle angebracht ist, giebt Gelegenheit, auf der obern Seite das Wasser aus dem Graben einzulassen. Sobald dieses Schütz geöffnet wird, schlieſst man den Graben darunter, um alles Wasser in das zu inundirende Feld zu leiten. Der Zufluſs dauert so lange bis das ganze Feld, wenn es nicht sogleich einen Theil des Wassers verschlucken würde, 3 bis 6 Zoll hoch damit bedeckt werden könnte. Alsdann schlieſst man jenes Schütz wieder, und bewässert auf gleiche Weise ein anderes Feld. Nach kurzer Zeit hat sich alles Wasser in den Boden eingezogen und die Getreidesaaten wachsen üppig empor, bis nach dem allgemeinen Culturplane vielleicht nach einer oder zwei Wochen wieder eine neue Ueberstauung gegeben wird, bis das Getreide zur Reife

kommt. Häufig ist noch ein zweites Schütz an der untern Seite des Feldes angebracht, welches indessen nur nach starkem und anhaltendem Regen geöffnet wird.

Die erwähnten Gräben werden durch Zuleitungscanäle gespeist, die von jenen Flüssen aus sich am Fufse der Anhöhe auf der obern Seite der Ebene hinziehn. Ein Wehr schliefst jedesmal dicht unter der Mündung eines solchen Canales das ganze Flufsbette, so dafs dieses nur das höhere Wasser abführt. Auf die gleichmäfsige Vertheilung des Wassers aus dem Flusse über die ganze damit zu inundirende Fläche wird grofse Sorgfalt verwendet, und die Anlagen sind so bemessen, dafs zur Zeit des niedrigsten Wassers allen zu inundirenden Flächen in gleichen Zeiten gleiche Massen zuströmen. Nach Maafsgabe der Gröfse der Flächen wird aber die Dauer des Zuflusses geregelt, und der niedrigste Wasserstand ist als Norm angenommen, weil während desselben es auf die gleichmäfsige Vertheilung am meisten ankommt.

Dieses sind im Allgemeinen die Principien der Bewässerung in der Lombardei. Der ganze Verband steht unter der Controlle des von demselben erwählten Aufsichtspersonals, welches nicht nur die Inundationen regulirt und zu diesem Zwecke alle Schütze unter Verschlufs hat, sondern auch über die gute Erhaltung aller Werke wacht. Die Sorgfalt, womit diese Anlagen aber unterhalten werden, ist überraschend.

Es kommt noch darauf an, einige Data über die Wassermenge mitzutheilen, welche zur Bewässerung benutzt wird. G. Goury führt an, dafs im Piemontesischen 343 Liter in der Secunde 130 bis 140 Hectaren fruchtbares Land bewässern, oder für die ganze Zeit der Bewässerung mufs man durchschnittlich für jede Hectare 11,4 Wasserzoll rechnen, oder jeder Magdeburger Morgen braucht während dieser Zeit in der Secunde 0,021 Cubikfufs Wasser. Sandiger Boden verlangt das Doppelte, wenn man dagegen auf thonigem Untergrunde Wiesen bilden will, so braucht man nach Goury nur die Hälfte.

Auch in Frankreich kommen mehrfach ähnliche Bewässerungsanlagen vor. In der Provence rechnet man auf jede Hectare 7¼ Wasserzoll oder auf den Morgen 0,013 Cubikfufs, und dabei wird gewöhnlich alle Monate nur einmal jedes Feld bewässert. In andern Gegenden Frankreichs bewässert man vom März bis Juni wöchent-

lich einmal, und zwar giebt man, wenn das Wasser reichlich vorhanden ist, jedesmal so viel davon, daſs es 3 Zoll hoch das Land bedeckt. Die Kosten belaufen sich für die jährliche Bewässerung in den verschiedenen Theilen Frankreichs zwischen 23 und 40 Francs, durchschnittlich aber 30 Francs für die Hectare, oder für den Morgen beinahe 2 Thaler. *)

Endlich muſs noch erwähnt werden, daſs die Bewässerungen zuweilen, wie bei den untern Rhone-Niederungen noch zu einem andern Zwecke dienen. Der aus dem Meere aufgewachsene Boden ist stark mit Salz durchzogen, und wenn eine Austrocknung durch Verdunstung erfolgt, so efflorescirt das Salz an der Oberfläche und tödtet die jungen Saaten. Man bedeckt daher den Boden vor der Aussaat mit dem süſsen Rhonewasser und nachdem dieses das Salz aufgelöst hat, wird es abgelassen. Dieselbe Operation muſs aber mehrmals wiederholt werden. Auſserdem bestreut man die Felder noch mit Schilf, nachdem die Aussaat geschehn ist, um das Austrocknen und somit die starke Ansammlung von Salz zu verhindern. Dieses Schilf dient aber für die Folge wieder zur Düngung. **)

Was die Bewässerung durch Ueberrieselung betrifft, so ist dieselbe für den Hydrotecten von geringerer Bedeutung, indem sie sich nur auf einzelne Wiesenflächen bezieht. Die betreffenden Anlagen sind daher gemeinhin auch so wenig umfassend, daſs sie kaum als zur Wasserbaukunst gehörig betrachtet werden. In der Regel werden sie von dem Grundbesitzer selbst nach dem Augenmaaſse und nach bloſser Schätzung ausgeführt, woher denn auch in den Schriften, die hierüber handeln, keine bestimmten Erfahrungssätze mitgetheilt werden, sondern die Burtheilung des passendsten Gefälles, der nöthigen Wassermenge und dergleichen nur von einer dunkeln Schätzung, oder dem sogenannten praktischen Blicke abhängig gemacht wird. Nichts desto weniger mögen die wichtigsten Methoden, die zum Theil sehr sinnreich sind und oft mit groſser Geschicklichkeit angewendet werden, kurz berührt werden.

Augenscheinlich kann man die Wiesenwässerung in keiner grösseren Höhe beginnen lassen, als wo man im Stande ist das Wasser noch hinzuleiten. Zuweilen wird freilich durch Schöpfräder, auch

---

*) *Annales des ponts et chaussées* 1833. *II. p.* 291 ff.
**) *Annales des ponts et chaussées* 1832. *I. p.* 127.

wohl durch andre Maschinen, das Wasser künstlich gehoben, gewöhnlich staut man aber den Bach, der in dem Thale fliefst, an einer passenden Stelle auf, und führt ihn in Seitengräben möglichst hoch am Ufer fort. Wenn ein solcher Graben auf eine gröfsere Länge die Wiese bewässern soll, so darf man das Wasser nicht unmittelbar über das Ufer treten lassen, weil dadurch leicht tiefe Einrisse entstehn würden. Man versieht ihn also an beiden Seiten mit höheren Ufern, und legt im Abstande von 3 Fufs an der Thalseite mit ihm parallel einen besondern Ueberrieselungsgraben an, der nur einen Spatenstich breit und tief ist und durch Verbindungsgräben in Entfernungen von etwa 2 Ruthen gespeist wird. Diese Verbindungsgräben lassen sich leicht durch ein Stückchen Rasen oder einen Spahn so weit verengen, oder andrerseits so viel erweitern, dafs sie gleichmäfsig dem Ueberrieselungsgraben das Wasser zuführen. Aus letzterem, der mit keinem höheren Ufer versehn ist, fliefst das Wasser überall auf den Rasen über und die Gleichmäfsigkeit in der Verbreitung desselben wird dadurch erreicht, dafs man mit dem Spaten in der Hand täglich die Anlage begeht und wo es Noth thut die feinen Rinnen erweitert oder verengt. Es kann jedoch nicht fehlen, dafs wegen der Unebenheit der Oberfläche sich bald Unregelmäfsigkeiten bilden und das Wasser sich an einzelnen Stellen stärker sammelt als an andern, man mufs daher in einem zweiten Ueberrieselungsgraben, der ganz horizontal geführt ist, das Wasser wieder sammeln und es von diesem aus aufs Neue möglichst gleichmäfsig verbreitet auf die unterhalb gelegene Wiesenfläche treten lassen. So durchzieht man in Abständen von 1 bis 5 Ruthen den Abhang mit horizontalen kleinen Gräben, und in jedem derselben sammelt man das Wasser und verbreitet es aufs Neue über den Rasen. Man findet solche einfache Anlagen häufig im westlichen Deutschlande, so oft das stärkere Gefälle der Bäche es erlaubt, diese am Wiesenrande hin zu führen. Auf die Neigung der Wiesenfläche scheint es dabei wenig anzukommen, und die Grenze dafür wäre nur, dafs sich der Rasen noch bilden kann.

Zuweilen trifft es sich, dafs das Thal zu unregelmäfsig gestaltet ist, als dafs man es mit den horizontalen Furchen überziehn und überall einen kräftigen Rasen erzeugen kann. Dieses ist der Fall, wenn die Ufer stellenweise sehr steil sind, auch das Bachbette sehr

veränderlich ist, so dafs der gewonnene Rasen immer von Neuem zerstört wird. Wenn in solchem Falle der Boden aus reinem Sande besteht, wobei die angedeuteten Uebelstände sich am stärksten zeigen, so tritt die Gelegenheit zur Anlage von Schwemmwiesen ein, wie solche an der Ems und Lippe und in andern sandigen Gegenden des nordwestlichen Deutschlands nicht selten vorkommen. Eine Schwemmwiese zeigt, sobald sie fertig ist, nichts Eigenthümliches, sie wird auch wie andere Wiesen überrieselt, dagegen ist ihre Darstellung oder das sogenannte Wiesenflössen wichtig. Wollte man nämlich durch Abgraben der sandigen Ufer die tiefen Stellen ausfüllen und theils dem Bache selbst ein regelmäfsig geneigtes und gerades Bette geben, theils aber auch den Wiesengrund auf beiden Seiten von dem steilen Abhange bis zu diesem Bette sanft neigen, so würden die Kosten sehr grofs ausfallen. Man führt daher künstlich dieselben Veränderungen herbei, wodurch die Thäler der Flüsse und Bäche sich in der Natur ausbilden, und unter günstigen Verhältnissen sich in weit ausgedehnte, nahe horizontale und fruchtbare Wiesengründe verwandeln. Der Bach selbst mufs die Anhöhen, die man beseitigen will, abbrechen, und das gelöste Material theils in die Vertiefungen führen, theils aber es gleichmäfsig über das ganze Thal verbreiten, um demselben die erforderliche Höhenlage und sanfte Abdachung zu geben.

Das Wiesenflöfsen kann nur mit Erfolg betrieben werden, wenn der Bach mäfsig angeschwollen ist. Oberhalb der Stelle, wo die Melioration vorgenommen werden soll, zieht man einen Damm durch das Thal, um die ganze Wassermenge zu einer kräftigen Strömung benutzen zu können. Die Melioration beginnt jedesmal oben, oder dicht unterhalb jenes Dammes, und wird, so oft die Witterung es gestattet, weiter abwärts fortgesetzt. Das Verfahren besteht darin, dafs man gegen die Höhen, die man abtreiben will, die Strömung richtet, und deren Wirkung noch dadurch unterstützt, dafs man diese Höhen zugleich abstechen läfst. Der gelöste Sand wird aber nicht etwa fortgekarrt oder ausgeglichen, vielmehr nur in das Wasser geworfen. Letzteres läfst ihn grofsentheils in geringer Entfernung wieder fallen und lagert ihn gleichmäfsig ab, indem es die Vertiefungen in der Nähe anfüllt. Bis zu der Stelle, wo jedesmal der Angriff ausgeübt werden soll, fliefst der Bach in einem geschlossenen

und ziemlich regelmäfsigen Bette, welches man mit Sorgfalt darstellt, da es auch später benutzt wird. Weiter abwärts wird dagegen das Wasser nicht mehr zusammengehalten, es folgt daher dem stärksten Abhange und fliefst meist quer über das Thal nach dem früheren Bachbette. Auf diese Art bildet sich die beabsichtigte Erhöhung und Abdachung aus, aber sie würde sehr unregelmäfsig und sonach auch wenig vortheilhaft sein, wenn man sie ganz dem Zufalle überlassen wollte. Man mufs daher schon vor dem Beginne der Arbeit ein deutliches Bild von der neuen Wiesenanlage sich entworfen haben, auch die darzustellenden Höhen kennen, wobei Auf- und Abträge sich ausgleichen. Gewöhnlich liegt in der Mitte der ausgebildeten Wiese das Bachbette, welches im erwähnten Damme durch eine Arche gespeist wird, die zur Abführung des Hochwassers dient. Zu beiden Seiten steigt der Wiesengrund sanft an bis zum Fufse der höheren Ufer, und hier liegen die Zuleitungsgräben für das Rieselwasser. Dieses sind dieselben Gräben, welche während des Flöfsens in der beschriebenen Art schon in Thätigkeit waren.

Es leuchtet ein, dafs eine grofse Aufmerksamkeit und ein vielfaches kräftiges Einwirken nöthig ist, um die beabsichtigte Umformung des Bodens wirklich darzustellen, und namentlich ist es oft nicht leicht, die erforderliche Erhöhung bis zur Mitte des Thales auszudehnen. Man mufs zuweilen allein zu diesem Zwecke Quergräben eröffnen, in welchen das Wasser schnell genug fliefst, um den bereits hineingeworfenen Sand nicht sogleich fallen zu lassen. Wenn man aber hierdurch auch keineswegs eine ganz regelmäfsige Oberfläche darstellen kann, so läfst sich doch der schwierigste Theil der Arbeit auf diese Art ausführen, und es bleibt nur übrig, Einzelnes durch Handarbeit auszugleichen. Es mufs aber noch bemerkt werden, dafs die Bäche, namentlich wenn sie weiter unterhalb ein starkes Gefälle behalten, den Sand nicht vollständig fallen lassen, sondern ihn zum Theil noch mit sich führen und sonach dieses Wiesenflöfsen oft Veranlassung ist, dafs Versandungen in den untern Theilen der Flüsse entstehn.

Endlich ist noch des sogenannten Siegenschen Wiesenbaues zu erwähnen. Das Eigenthümliche dabei ist, dafs der ganzen Wiese durch Handarbeit in allen Theilen diejenige Neigung gegeben wird, welche bei eintretender Ueberrieselung den gröfsten Ertrag bedingt. Man bemüht sich gewöhnlich, die Neigung von 1 : 12 darzustellen,

doch sind etwas flachere Abhänge, nämlich bis 1 : 18 noch zulässig. Hat die Wiesenfläche schon diese Neigung, oder kann sie ihr künstlich gegeben werden, so wird die Bewässerung mittelt der horizontalen stufenförmig unter einander liegenden Ueberrieselungsgräben in der Art eingerichtet, wie bereits beschrieben worden. Man nennt dieses den Hangbau. Fig. 134 *a* und *b* zeigt zwischen *E* und *H* im Grundrisse und im Längenprofile diese Anordnung. *E* ist der Zuleitungsgraben, *F* und *G* sind die Ueberrieselungsgräben mit den dazwischen liegenden Verbindungsgräben, doch müssen die letzteren während der Ueberrieselung durch zugeschärfte Brettchen geschlossen werden.

Zuweilen hat die Wiese nicht das erwähnte starke Gefälle, alsdann kann man ihr dasselbe noch durch Querabhänge geben, wie dieselbe Figur diese auf der rechten Seite und Fig. *c* im Querprofile zeigt. Man nennt dieses den Rückenbau, der auch häufig mit dem Hangbau vereinigt ist, indem die Wiesen gewöhnlich oben ein stärkeres Gefälle haben als unten. Die Einrichtung des Rückenbaues ist folgende: man theilt die Wiese in dachförmige Rücken ein, welche sich in der Richtung hinziehn, die den Abhang der Wiese bezeichnet. Die Breite der Rücken beträgt nur 2 bis 3 Ruthen, wenn nicht etwa in jedem Rücken noch der Haugbau angebracht ist. Der Sammelgraben oder Zuleitungsgraben *H* ergiefst sein Wasser theils als gewöhnlicher Ueberrieselungsgraben in die anstofsenden dreieckigen Flächen zwischen je zwei Rücken, theils aber und hauptsächlich speist er die Rückengräben *J*, die sich längs dem Kamme mit möglichst geringem Gefälle hinziehn. Die letzteren sind die eigentlichen Ueberrieselungsgräben, welche das Wasser auf die trapezförmigen Flächen zu beiden Seiten ausgiefsen und aufserdem auch die dreieckige Fläche (entsprechend dem Walme eines Daches) bewässern. Zwischen je zwei Rücken ziehn sich Sammelgräben *K* hin, die alles Wasser der Seitenabhänge auffangen und es in den Abzugsgraben *L* führen. Eine ganz gleichförmige Vertheilung des Wassers findet hier nicht statt, sobald der Graben *H* und die Rückengräben *J* gleichmäfsig an allen Stellen das Wasser übertreten lassen, denn die Flächen, die oberhalb des Sammelgrabens *K* liegen, erhalten von zwei Seiten ihre Zuflüsse, während diejenigen, die unterhalb der Rückengräben *J* sich befinden, weder von der einen, noch von der andern Seite gehörig gespeist werden, in ähnlicher Art, wie in der

Hohlkehle zwischen zwei Dachflächen sich vieles Wasser ansammelt, während dem Grade, der die Seitenfläche vom Walme trennt, gar kein Wasser zufliefst. Man mufs diese Unregelmäfsigkeit durch passende Zuleitung und durch Erhöhung oder Senkung der Grabenränder möglichst auszugleichen suchen.

Man überzeugt sich leicht, wie eine schwächere Neigung, welche die Wiesenfläche im Allgemeinen hat, dennoch ausreichen kann, um jedem einzelnen Abhange das nöthige Gefälle zu geben. Wenn dieses z. B. zu 1 : 12 angenommen ist, und die Länge der Rücken 6 Ruthen, ihre Breite 2 Ruthen und das Längengefälle der Rücken- und Sammelgräben $\frac{1}{2}$ Zoll auf die Ruthe oder 1 : 288 beträgt, so wird die Niveaudifferenz zwischen den Gräben *H* und *L* gleich $12 + 2\frac{1}{2} = 14\frac{1}{2}$ Zoll sein, während man für den Hangbau bei Einführung desselben Gefälles 72 Zoll Gefälle gebraucht haben würde.

Nadault de Buffon *) hat sich bemüht, auch für die Ueberrieselung das Bedürfnifs an Wasser aus mehrfachen Beobachtungen festzustellen. Die Resultate weichen freilich unter sich sehr bedeutend ab, und der Unterschied wird, wie Buffon sagt, noch gröfser, wenn man die Landwirthe fragt, die immer möglichst viel Wasser fordern, um selbst bei anhaltender Dürre noch grofse Massen verwenden zu können. Es ergab sich aber, dafs ein Zuflufs, der während der Sommermonate durchschnittlich in der Secunde 1 Liter lieferte, in allen Fällen mehr, als genügend war, um eine Hectare Wiesengrund zu bewässern, ein halbes Liter wurde selbst in den heifsen Landstrichen des südlichen Frankreichs für genügend angesehn, und bei vorsichtiger Zuleitung und Vertheilung des Wassers war sogar die Hälfte davon, oder ein Viertel Liter für dieselbe Fläche ausreichend.

Hiernach entscheidet sich Buffon dahin, dafs ein dauernder Zuflufs von einem Viertel bis zu einem halben Liter in der Secunde für eine Hectare Wiesengrund genüge, oder $3\frac{1}{2}$ bis $7\frac{1}{2}$ Cubikzoll für den Morgen. Ein Bach, der während des Sommers durchschnittlich 1 Cubikfufs in der Secunde giebt, ist sonach fähig, 480 bis 240 Morgen Wiesenfläche zu bewässern. Man läfst aber das Wasser nicht ununterbrochen auf dieselbe Fläche treten, vielmehr ist es vortheil-

---

*) *Traité théorique et pratique des Irrigations. Tome III.* Paris 1844. *p.* 502 bis 509.

haft, wenn das Wasser möglichst vortheilhaft verwendet werden soll, die Wiese in zwei gleiche Hälften zu theilen, die abwechselnd immer 14 Tage hindurch bewässert werden. Die ungetheilte Wassermenge, die während einer solchen Periode auf die halbe Fläche tritt, entspricht einem Niederschlage von $2\frac{1}{3}$ bis $4\frac{2}{3}$ Zoll Höhe, also jedenfalls einem sehr starken Regen, während mehrerer Tage.

Nachträglicher Zusatz zu §. 8.

In neuester Zeit haben die sogenannten Amerikanischen oder Abessinischen Brunnen mehrfach Eingang gefunden, und die Leichtigkeit, womit sie sich unter günstigen Verhältnissen einrichten lassen, dürfte ihnen eine ausgedehnte Verbreitung sichern. Namentlich bei dem Feldzuge der Engländer in Abessinien waren sie von unschätzbarem Werth, da sie an allen passend gewählten Lagerplätzen in der kürzesten Zeit das nöthige Trinkwasser lieferten. Sie unterscheiden sich von den gewöhnlichen Brunnen nur dadurch, dafs ihnen der Kessel, oder das Bassin fehlt, in welchem das Wasser sich ansammelt. Der natürliche Boden umgiebt nämlich unmittelbar das Pumpenrohr. Letzteres wird in irgend einer Weise eingetrieben, und mufs, damit es leicht eindringt, von gleichmäfsiger Form und möglichst geringem Durchmesser sein, woher bei ihnen die Einrichtung von Druckpumpen unmöglich ist. Diese Brunnen sind nur ausführbar, wenn das Grundwasser nicht tief liegt, dasselbe also durch Luftverdünnung noch angesogen werden kann. Eine zweite Bedingung ist, dafs der Boden hinreichend rein ist, um das Rohr leicht eindringen zu lassen.

Die nachstehende Beschreibung bezieht sich auf einen Brunnen, der vor Kurzem in dem Hofraume der hiesigen Gewerbe-Academie aufgestellt wurde.

Indem das Bohrloch nicht tief, und nicht bis in das Grundwasser herabgetrieben, auch nur bis zum Einstellen des Saugerohres offen erhalten werden sollte, so war die Umschliefsung desselben mit Futterröhren entbehrlich, auch der Bohrer durfte nur zum He-

ben von feuchtem Sande eingerichtet sein: ihm fehlte daher die cylindrische Umschliefsung des gewöhnlichen Erdbohrers, und er bestand nur aus zwei flachen Schraubengängen, von denen jeder einen Halbkreis von 2 Zoll Radius umfafste. Dieser Bohrer, an ein leichtes Gestänge befestigt, wurde von zwei Mann eingeschroben und brachte jedesmal einen Cylinder feuchten Sandes anfänglich mit vielem Bauschutt vermengt, von 3 bis 4 Zoll Höhe heraus.

In der Tiefe von 10 Fufs unter dem Pflaster zeigte sich der Sand schon stark mit Wasser durchzogen, woraus sich ergab, dafs man das Grundwasser erreicht hatte. Nunmehr wurde die Saugeröhre eingestellt. Dieselbe bestand in einer 2 Zoll weiten gezogenen eisernen Röhre. An ihrem untern Ende befand sich eine Grundschraube aus Schmiedeeisen, deren weit vortretende dünne Gänge in ihren äufsern Rändern einen Kegel darstellten, der unten in eine Spitze auslief, dessen obere Basis aber 4 Zoll im Durchmesser hielt. Oberhalb der Schraube, wo die Höhlung der Röhre ihren Anfang nahm, waren die Wandungen der letzteren mit einer grofsen Anzahl, angeblich neunzig, kleinen Oeffnungen versehn, durch welche das Wasser eintreten konnte.

Diese Röhre wurde, nachdem in passender Höhe ein kurzer zweiarmiger Hebel mittelst Schrauben daran befestigt war, noch 4 Fufs tiefer in den Boden eingeschroben. Sie mufste dabei durch eine eben so weite Ansatzröhre mit Hülfe einer übergeschrobenen Muffe verlängert werden. Endlich schrob man den gufseisernen Kopf darauf, worin sich die vollständige Pumpe nebst Schwengel und Ausgufsrohr befand, und hiermit war die Aufstellung des Brunnens beendigt. Die Zwischenzeit zwischen dem Aufbrechen des Pflasters und der Benutzung der Pumpe betrug 45 Minuten und dabei waren nur 2 Mann beschäftigt gewesen.

Das aus der Tiefe von etwa 13 Fufs gehobene Wasser war Anfangs dunkelbraun gefärbt, doch klärte es sich schon beinahe vollständig, nachdem man etwa 6 Eimer gepumpt hatte.

Auffallend war es, dafs bei dem lange fortgesetzten Pumpen der Brunnen nicht versiegte, vielmehr stets reichlich Wasser gab, dasselbe drang also nicht allein aus der nächsten Umgebung hinzu, sondern sammelte sich in weitem Umkreise. Die Erscheinung erklärt sich durch den starken Druck, unter dem das Wasser der Pumpe zufliefst, und der keineswegs allein der Niveaudifferenz zwi-

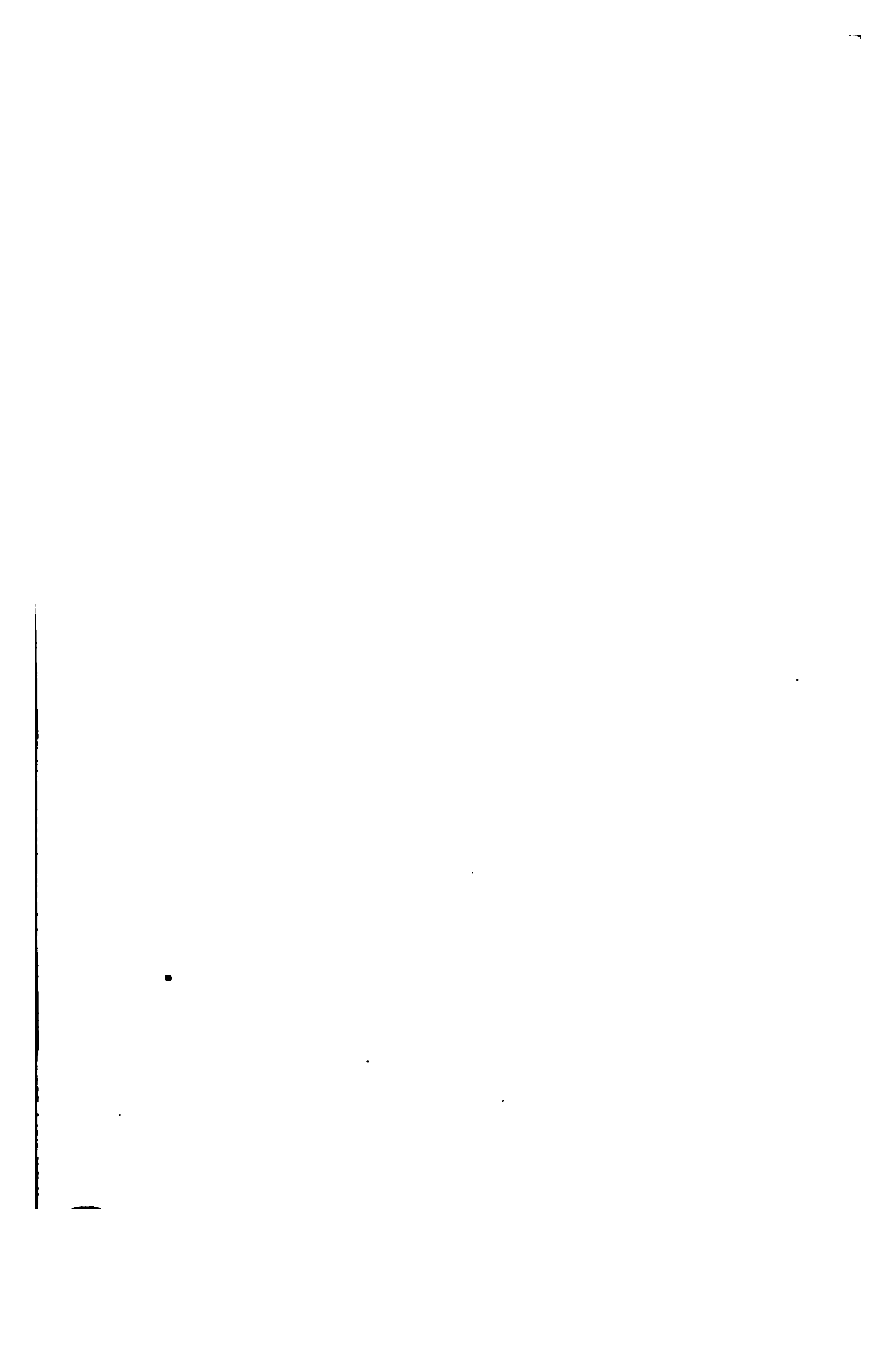
schen dem Grundwasser und der Sohle des Saugerohres entspricht, vielmehr vorzugsweise durch die Luftverdünnung in der Pumpe veranlaſst wird. Der Ueberdruck der Atmosphäre treibt das Wasser in gleicher Art nach der Röhre, wie Donnet (vergleiche Seite 75) die Luftverdünnung im Brunnenkessel zur schnelleren Speisung desselben benutzte. Zu diesem Zwecke wurden auch die Schraubengewinde vor der Verlängerung des Saugerohres und vor dem Aufsetzen des Kopfes mit dünnem Eisenkitt bestrichen, der den luftdichten Schlüſs darstellte.

In andern Fällen werden diese Brunnen, nachdem der Boden einige Fuſs tief aufgegraben oder aufgebohrt ist, nicht eingeschroben, sondern eingerammt. Das Saugerohr ist alsdann am untern Ende nur mit einer massiven Spitze versehn, worüber sich die feinen Zufluſs-Oeffnungen befinden. Auf dieses Rohr wird aber zunächst ein starker guſseiserner Kopf aufgeschroben, der sowol den Schlag des eisernen Rammklotzes aufnimmt, als er auch zwei Leitstangen trägt, zwischen welchen der leichte Klotz sich bewegt. An die Leitstangen sind die Scheiben befestigt, worüber die Rammtaue laufen.

Die Erfindung dieser Brunnen ist übrigens nicht ganz neu, da schon früher zuweilen hölzerne Röhren in ähnlicher Weise eingerammt und benutzt sind. So soll in Berlin ein Brunnen dieser Art bereits seit 18 Jahren im Gebrauch sein.

Ende des ersten Bandes.

Gedruckt bei A. W. Schade (L. Schade) in Berlin, Stallschreiberstr. 47.



Handbuch

der

Wasserbaukunst

von

G. Hagen.

Dritte neu bearbeitete Auflage.

Erster Theil:

Die Quellen.

Zweiter Band mit 13 Kupfertafeln.

Berlin 1870.

Verlag von Ernst & Korn.

(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)

Brunnen, Wasserleitungen

und

Fundirungen.

Von

G. Hagen.

Dritte neu bearbeitete Auflage.

Zweiter Band.

Mit einem Atlas von 13 Kupfertafeln.

Berlin 1870.
Verlag von Ernst & Korn.
(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)



Inhalts-Verzeichnifs
des zweiten Bandes.

Seite

Abschnitt V.

Fünfter Abschnitt.

Fundirungen.

§. 31.

Fundirungen im Allgemeinen.

Die Oberfläche des natürlichen Bodens ist nur selten so fest oder tragfähig, dafs sie unter der Last eines darauf gestellten Gebäudes gar nicht in Bewegung gesetzt oder zusammengedrückt werden sollte. Wenn dieses aber auch während des Baues nicht der Fall ist, so dürfen die spätern Einwirkungen der Witterung nicht unbeachtet bleiben. Der Regen dringt in die meisten Bodenarten ein und erweicht dieselben, während er sogar zuweilen noch Unterspülungen veranlafst. Der Frost verursacht dagegen andre Bewegungen, indem das eingedrungene Wasser beim Gefrieren sich ausdehnt und beim Schmelzen wieder ein geringeres Volum einnimmt, so dafs auch hierdurch der Untergrund gelockert wird.

In dieser Weise kann der Bau, den man unmittelbar auf den natürlichen Boden stellen wollte, entweder sogleich oder später die sichere Unterstützung verlieren. Geschieht dieses in seiner ganzen Ausdehnung gleichmäfsig, so ist die Senkung weniger nachtheilig, da die einzelnen Constructions-Theile sich weder trennen, noch aus dem Lothe weichen. Im entgegengesetzten Falle ist die Gefahr viel gröfser, und steigert sich nicht selten so sehr, dafs der vollständige Einsturz erfolgt.

Das kunstgerecht ausgeführte Gebäude bildet einen Körper, dessen Theile unter sich nicht nur fest, sondern auch so dicht schliefsend verbunden sind, dafs der Regen dazwischen nicht eindringen kann. Die sichere Unterstützung fehlt aber, wenn der Untergrund nicht hinreichend fest ist, oder durch die erwähnten atmosphärischen Einflüsse gelockert werden kann. Indem letztere in der natürlichen Oberfläche und nahe unter derselben im All-

gemeinen viel wirksamer sind, als in gröfserer Tiefe, so mufs der Bau soweit herabgeführt werden, bis die Erd-Schichten die nöthige Tragfähigkeit besitzen und dauernd behalten. Diesen Theil des Bauwerkes, der in solcher Absicht unter die Oberfläche des natürlichen Bodens herabreicht, nennt man die Fundirung oder den Grundbau.

Wo festes und zusammenhängendes Gestein zu Tage tritt, bedarf es unter gewöhnlichen Verhältnissen keiner Fundirung, um selbst einen schweren Bau darauf zu stellen, weil der Boden bereits die erwähnten Eigenschaften des künstlichen Mauerwerks besitzt. Es kommt also nur darauf an, ihn mit diesem so innig zu verbinden, dafs er eine Fortsetzung desselben bildet. Dabei mufs man aber auch dafür sorgen, dafs ein Abgleiten verhindert wird.

Bei andern Bodenarten mufs dagegen der Bau tiefer herabgeführt werden, und wenigstens so tief, dafs man ihn jenen atmosphärischen Einwirkungen entzieht. In unserm Klima pflegt der Frost nicht tiefer, als etwa 4 Fufs in den Grund einzudringen, auch verschwinden alsdann die auffallenden Aenderungen des Feuchtigkeits-Zustandes, wenn nicht etwa Quellen sich in der Nähe befinden. Dieses Maafs bezeichnet also unter günstigen Umständen und wenn nicht etwa andre Rücksichten, wie Kelleranlagen, ein weiteres Herabgehn fordern, die Tiefe der Fundirung.

Der aufgeschwemmte Boden besitzt jedoch häufig in den obern Lagen noch nicht die nöthige Tragfähigkeit, um einen schweren Bau sicher zu unterstützen. Bei gleichmäfsiger Beschaffenheit des Bodens vermindert sich dieser Mangel bei zunehmender Tiefe, weil theils zur Seite ein stärkerer Gegendruck sich bildet, theils aber auch die unter der Fundirung liegende Schicht nicht so leicht, wie in der Nähe der Oberfläche seitwärts ausweichen kann. Aus diesem Grunde mufs man im Allgemeinen um so weiter herabgehn, je schwerer das Gebäude ist. Die gröfsere Tiefe des Fundamentes giebt aufserdem noch Gelegenheit, die Basis desselben stufenförmig zu verbreiten und dadurch den Druck auf eine gröfsere Fläche zu vertheilen, oder den natürlichen Boden verhältnifsmäfsig weniger zu belasten.

In dem Falle, dafs verschiedenartige Erdschichten über einander lagern, kann es leicht geschehn, dafs die obere feste Schicht das Gebäude zu tragen im Stande ist, auch vermöge ihres innigen

Zusammenhanges jede Bewegung und jedes Ausweichen der darunter befindlichen loseren Masse verhindert, dafs jedoch der Bau in die letztere einsinkt, sobald man die Fundirung tiefer herabführt und jene feste Schicht ganz oder theilweise durchschneidet. Um in dieser Beziehung sich zu sichern, mufs man durch Aufbohren des Grundes dessen Beschaffenheit bis zu gröfserer Tiefe genau untersuchen, und zwar ist dieses in allen Fällen nothwendig, wenn schwere Gebäude an Stellen errichtet werden sollen, woselbst die Tragfähigkeit des Bodens noch nicht durch das Verhalten andrer ähnlicher Gebäude erprobt ist. Ueber die Ausführung dieser Bohrungen ist im II. Abschnitte bereits das Nöthige mitgetheilt worden. An der ausgehobenen Erde kann man die Zusammensetzung des Bodens in den verschiedenen Tiefen sicher erkennen, die Festigkeit der Ablagerung desselben wird jedoch durch das in das Bohrloch eindringende Wasser oft wesentlich verändert. Der Sand wird häufig vollständig aufgelockert, so dafs er Triebsand zu sein scheint, dem jede Tragfähigkeit mangelt, während er in der That fest abgelagert war, und nur durch das von unten in die Bohrröhre eindringende Wasser gehoben wurde. Indem bei Untersuchungen dieser Art die Tiefen, bis zu welchen man hinabgehen mufs, gemeinhin nicht bedeutend sind, so kann man durch stumpfe eiserne Stangen, die man in das Bohrloch stöfst, von der Festigkeit der natürlichen Lagerung des Sandes sich schon meist ein ziemlich sicheres Urtheil bilden.

Zuweilen ergiebt sich aus den Bohrversuchen, dafs bis zu grofser Tiefe der Boden aus einer zähen und dickflüssigen Masse besteht. Oft ist dieselbe aus mehr oder weniger zersetzten organischen Substanzen gebildet, denen Thon beigemengt ist. Gewifs ist es sehr bedenklich, hierauf ein schweres Gebäude zu stellen. Findet sich in einer noch erreichbaren Tiefe ein fester Untergrund, so läfst sich mittelst des Pfahlrostes der Druck auf diesen übertragen. In vielen Fällen gewinnt der Pfahlrost aber auch schon die nöthige Tragfähigkeit in dem weichen Boden. Letzterer wird nämlich durch die eingetriebenen Pfähle comprimirt, und übt gegen diese eine bedeutende Reibung aus. In solcher Weise sind die Pfähle, so lange sie nicht zu stark belastet werden, gegen ein tieferes Einsinken sicher gestellt. Die Festigkeit der Pfahlroste in den Niederlanden beruht gemeinhin allein auf dieser Reibung, da

man aus dem starken Eindringen der Pfähle, wenn sie auch die beabsichtigte Tiefe nahe erreicht haben, sicher entnehmen kann, daſs sie in keine an sich tragfähige Erdschicht eingedrungen sind.

Sollte der Boden so stark mit Wasser durchzogen sein, daſs selbst durch eine groſse Anzahl von Pfählen, weder die nöthige Verdichtung, noch eine hinreichende Reibung sich darstellen läſst, und festere Schichten nur in einer nicht erreichbaren Tiefe vorkommen, so könnte man daran denken, noch einen schweren Bau dadurch sicher zu fundiren, wenn man ihn theilweise in der Art versenkt, daſs er förmlich schwimmt. Das ganze Gewicht des Baues darf alsdann aber nicht gröſser sein, als die ausgehobene Schlammmasse, die früher seine Stelle einnahm. Bei manchen Arten von Bauwerken läſst sich diese Bedingung leicht erfüllen. — So kann z. B. eine Entwässerungsschleuse, deren Mauern sich nicht über den Boden erheben, so eingerichtet werden, daſs sie den Grund, auf dem sie erbaut wird, durchschnittlich nicht stärker belastet, als er früher durch die daraufliegende Erde gedrückt wurde. Ebenso können Souterrains, die man unter Wohn- und andern Gebäuden anbringt und die man wasserfrei erhält, auch den Druck vermindern. Bei hohen und massiven Gebäuden läſst sich indessen in dieser Weise der Druck nie vollständig aufheben. Es ist auch nicht bekannt, daſs man jemals von diesem hydrostatischen Princip vollständig Gebrauch gemacht hat, nur bei Erbauung der Albion-Mühlen in London hat Rennie zum Theil diese Idee verfolgt. Farey *) beschreibt die hier gewählte Fundirungsart mit folgenden Worten:

„Das Gebäude der Albion-Mühlen hat man auf den losen Anschüttungen am Stirnpfeiler der Blackfriars-Brücke erbaut, und um theils die Mauern zu sichern und theils mit dem Fundamente nicht gar zu tief herabgehn zu dürfen, so entwarf Rennie den Plan, das ganze Gebäude auf umgekehrte Gewölbe zu stellen. Zu diesem Zwecke wurde der Grund unter den Mauern so befestigt, wie dieses auch sonst üblich ist. Wo es nöthig war, schlug man Pfähle ein, oder legte einige Schichten von recht groſsen und flachen Steinen aus, und bildete so die Fundamente. Damit dieselben durch die Belastung jedoch nicht in die lose Erde einsinken möchten, wurden alle Räume dazwischen mit starken umgekehrten Gewölben versehn,

*) *Treatise on the Steam Engine by J. Farey.*

die sich unter der ganzen Fläche des Gebäudes zwischen allen Mauern hinzogen. Diese Gewölbe hatten ihre Widerlager in den Fundamenten der Mauern, und letztere konnten nicht sinken, ohne dafs die Gewölbe sich in gleichem Maafse in den Grund eindrückten. So wurden die sämmtlichen Fundirungen mit einander verbunden, und bildeten eine so grofse Basis, dafs sie selbst in dem Falle das Gewicht des ganzen Gebäudes hätten tragen können, wenn auch der Grund aus Schlamm bestanden hätte, denn das Gebäude mufste schwimmen, wie ein Schiff im Wasser schwimmt. Welche Senkung aber auch eingetreten wäre, so hätte daran das ganze Gebäude gleichmäfsig Theil nehmen müssen, und ein Ausweichen oder Einsinken einzelner Mauern war unmöglich. Der Grund hatte indessen doch einige Festigkeit, und durch die erwähnte Ausdehnung der tragenden Fläche wurde der ganze Bau so gesichert, dafs er sich gar nicht gesenkt hat."

Hiermit stimmt gewissermaafsen das Verfahren überein, welches man beim Stollenbau im leichten Boden anwendet. Der schlammige Untergrund pflegt nämlich unter dem Gewichte der Seitenmauern zwischen denselben, wo er keinen Gegendruck erfährt, aufzuquellen, und den Stollen mehr oder weniger auszufüllen. Man begegnet diesem Uebelstande wieder durch ein umgekehrtes Gewölbe, das man am Boden anbringt. Diese Methode wird gegenwärtig bei allen unterirdischen Canalstrecken und Tunnelirungen angewendet, so oft der Boden nicht aus festem Gestein besteht.

Gewifs ist die Frage von grofser Wichtigkeit, in welcher Tiefe bei gleichmäfsigem Boden eine gegebene Grundfläche die nöthige Unterstützung findet, um eine gegebene Last zu tragen. Ich hatte hierüber und zwar sowohl für Sand- als für Thonschüttungen schon in der ersten Ausgabe dieses Werkes (1841) einige Beobachtungen mitgetheilt, und war zu dem Resultate gekommen, dafs die Belastung im Sande dem Quadrate der Einsenkung, im Thone dagegen der Einsenkung selbst proportional sei. Aufserdem hatte ich auch bemerkt, dafs im Sande die Einsenkung momentan vollständig eintritt, während sie im Thon nur nach und nach erfolgt. Bei Wiederholung dieser Beobachtungen und zwar in weiterer Ausdehnung bestätigten sich zwar im Allgemeinen die erwähnten Resultate, es zeigten sich dabei jedoch manche Eigenthümlichkeiten, welche nicht unwichtig sind. Ohne die einzelnen Mes-

sungen vollständig mitzutheilen, mögen nachstehend die daraus hergeleiteten Schlufsfolgen, so wie die wichtigsten dabei wahrgenommenen Erscheinungen zusammengestellt werden.

In einem Blechcylinder wurden die verschiedenen Ablagerungen gebildet, deren Tragfähigkeit untersucht werden sollte. Eine vollständige Gleichmäfsigkeit liefs sich dabei aber ohnerachtet aller Vorsicht nicht erreichen und dieses war der Grund, weshalb bei Wiederholung derselben Beobachtungen die Resultate oft merklich verschieden waren.

Die Beobachtungen wurden in der Art angestellt, dafs ein Cylinder mit glatter Seitenfläche, der also möglichst wenig Reibung veranlafste, nach dem Lothe und in sicherer Führung auf die Schüttung sanft aufgestellt wurde. Dieser Cylinder war oben mit einer Scheibe versehn, worauf nach und nach gröfsere Gewichte gesetzt wurden. Bei dieser zunehmenden Belastung mufste jedoch jede Erschütterung vermieden, und daher jedesmal der Cylinder anderweitig gestützt und später vorsichtig gelöst werden. An dem Cylinder befand sich eine scharfe Marke, welche gegen einen festen Maafsstab die jedesmalige Einsenkung sicher erkennen liefs. Zwei solcher Cylinder wurden benutzt, von denen der eine 3,5 und der andre 5,4 Linien im Durchmesser hielt. Die horizontal abgeschnittenen Grundflächen derselben maafsen also 0,0669 und 0,1590 Quadratzoll, oder verhielten sich zu einander nahe wie 8 zu 19. Die Cylinder mit den zugehörigen Scheiben wogen 3,80 und 20,56 Loth. Es mag gleich bemerkt werden, dafs die mit beiden angestellten Messungen in den meisten Fällen mit grofser Wahrscheinlichkeit herausstellten, die Einsenkungen seien dieselben, wenn die Brutto-Gewichte den benannten Grundflächen proportional waren. Hiernach konnte das Gewicht berechnet werden, welches einen Cylinder, dessen Basis 1 Quadratzoll mifst, in den verschiedenen Schüttungen bis zu gewisser Tiefe eindringen läfst.

Nachdem in jedem einzelnen Falle sechs bis zehn Einsenkungen unter verschiedenen Belastungen beobachtet waren, untersuchte ich zunächst, ob das Gewicht der ersten oder der zweiten Potenz der Einsenkung proportional sei, indem ich unter beiden Voraussetzungen die wahrscheinlichsten Werthe der constanten Factoren bestimmte, und nach Einführung derselben die Summen der Quadrate von den übrigbleibenden Fehlern mit einander verglich. Bei allen Sand-

schüttungen, sowohl den festeren, als den losen, und eben sowohl bei trocknen, wie bei feuchten und nassen ergab sich, dafs diese Summe unter Einführung des Quadrates der Einsenkung viel geringer blieb, als wenn die erste Potenz gewählt war. Nur bei einer einzigen unter den zahlreichen Beobachtungsreihen mit fest abgelagertem feuchten Sande stellte sich das Gegentheil heraus, aber gerade bei dieser Bodenart zeigten sich die gröfsten und zwar höchst auffallende Abweichungen, die ohne Zweifel davon herrührten, dafs die Ablagerung sich nicht gleichmäfsig darstellen liefs, wenn darauf auch die möglichste Sorgfalt verwendet wurde. Bei dem Thonboden, und zwar ebensowohl, wenn er mit mehr oder mit weniger Wasser vermengt war, wurden die Fehlerquadrate dagegen viel kleiner, wenn ich die Gewichte der ersten Potenz der Einsenkung proportional setzte. Hierbei trat überdies noch der wesentliche Unterschied gegen die Erscheinung im Sandboden ein, dafs die Cylinder nach und nach tiefer einsanken, bis sie nach 20 bis 30 Minuten eine sichere Unterstützung gefunden hatten und keine weitere Bewegung bemerken liefsen. Die Einsenkungen wurden nach Verlauf dieser Zwischenzeiten gemessen. Bei Sandschüttungen konnten die Beobachtungen dagegen sogleich angestellt werden, weil die Cylinder momentan bis zur erforderlichen Tiefe eindrangen und ohne äufsere Veranlassung später sich nicht weiter senkten.

Bei der Vergleichung der einzelnen Beobachtungen jeder Reihe mit den bezeichneten einfachen Ausdrücken ergab sich indessen, dafs letztere nicht passend gewählt seien, weil jedesmal die Gewichte, die den kleinsten Einsenkungen entsprachen, bedeutend gröfser waren, als sie nach der Rechnung sein sollten. Die Uebereinstimmung wurde viel vollständiger, sobald ich noch ein constantes Glied einführte. Dasselbe entspricht ungefähr demjenigen Widerstande, den man in der Maschinenlehre Reibung nach der Ruhe zu nennen pflegt, und es erklärt sich dadurch, dafs ein gewisser Druck erforderlich ist, bevor überhaupt eine Bewegung eintritt und dafs letztere durch den Ueberschufs des ganzen Druckes über diesen bedingt wird. Auch bei Thonablagerungen wurde durch ein solches constantes Glied eine bedeutend gröfsere Uebereinstimmung der einzelnen Beobachtungen erreicht.

Augenscheinlich liefs die Uebereinstimmung sich noch vermeh-

ren, wenn dem Ausdrucke drei Glieder gegeben wurden, nämlich aufser diesem constanten eines, welches die erste und ein anderes, welches die zweite Potenz der Einsenkung zum Factor hatte, oder wenn die Form

$$\gamma = r + s\varepsilon + t\varepsilon^2$$

gewählt wurde, wo γ die Brutto-Last, ε die Einsenkung bedeutet, während r, s und t die jedesmal zu bestimmenden Constanten sind. Dieser Ausdruck schien sich auch insofern zu rechtfertigen, als man vermuthen durfte, dafs die Widerstände, welche beim Sande vorwiegend der zweiten, und beim Thon vorwiegend der ersten Potenz der Einsenkung proportional sind, jedesmal oder doch in gewissen Fällen vereinigt vorkommen. Diese Voraussetzung ergab sich indessen als irrig, da in den ausgedehntesten und sichersten Beobachtungsreihen, für die ich die Werthe der drei Constanten methodisch berechnete, eine oder die andere derselben sich in den meisten Fällen als negativ ergab, was an sich unmöglich ist. Ich blieb daher bei den einfachen Formen

$$\gamma = r + \varepsilon^2 t$$

$$\text{oder} \quad \gamma = r + s\varepsilon$$

und gelangte dadurch zu den nachstehenden Resultaten.

Was die Sandschüttungen betrifft, so war das Material dasselbe, welches ich zu den Beobachtungen über die Filtration (§. 20) benutzt hatte. Der Sand war, wie oben erwähnt, durchaus frei von jeder fremden Beimengung und bestand aus sehr gleichen Körnchen, die durchschnittlich 0,13 Linien im Durchmesser hielten.

Das specifische Gewicht der Sandkörnchen fand ich gleich 2,64. Bei möglichst vorsichtiger Einschüttung in ein cylindrisches Gefäfs, wobei der trockne Sand in feinem Strahle immer nur wenige Linien tief herabfiel, und jede Erschütterung vermieden wurde, füllte die Masse nur 0,604 des Raumes an. Wenn der Sand dagegen schichtenweise angestampft wurde, so nahm er 0,640 des ganzen Raumes ein. Diese beiden Grenzen wurden, sobald Wasser hinzu kam, merklich überschritten. Durch Einschütten des Sandes in Wasser, wobei die Körnchen einzeln und zwar sehr sanft niedersanken, also Triebsand bildeten, füllte ein Volum, das in compacter Masse nur 0,574 des ganzen Raumes einnahm, den letzteren vollständig an, wenn ich dagegen dem Sande so wenig Wasser zusetzte, dafs er nur schwach befeuchtet war, und in diesem Zustande ihn

schichtenweise anstampfte, so maafs sein Volum 0,647 des ganzen Raumes *).

Diese verschiedenen Ablagerungen, sowohl des trocknen, wie des feuchten und nassen Sandes wurden möglichst gleichmäfsig in dem cylindrischen Gefäfse von 6 Zoll Weite und 8 Zoll Höhe dargestellt. In dem Boden desselben befand sich eine verschliefsbare Oeffnung, an welche auch ein Gummischlauch befestigt werden konnte, um zur Darstellung des Triebsandes das Wasser von unten und zwar unter beliebigem Drucke eindringen zu lassen.

In der folgenden Zusammenstellung sind die Mittelwerthe der Belastungen auf 1 Quadratzoll Grundfläche und zwar in Pfunden ausgedrückt, mit γ, die Einsenkungen ε dagegen in Zollen bezeichnet.

Trockner Sand war möglichst lose in das Gefäfs geschüttet, also unter Anwendung der vorhin erwähnten Vorsicht

$$\gamma = 2{,}0 + 3{,}2 \,.\, \varepsilon^2.$$

Bei trocknem Sande, der fest gestampft und durch lange fortgesetztes Einstofsen eines Drahtes möglichst dicht abgelagert war, fand ich

$$\gamma = 1{,}1 + 6{,}1 \,.\, \varepsilon^2.$$

Dafs das erste Glied, welches von wenig Bedeutung ist, bei der festen Schüttung einen geringeren Werth hat, als bei der losen, rührt augenscheinlich nur von der Unsicherheit der Beobachtungen her. Man dürfte vermuthen, dafs diese Constante in beiden Fällen gleich grofs ist, da die Oberfläche des trocknen Sandes sich überhaupt nicht befestigen läfst.

Indem ich in die Schüttung des trocknen Sandes Wasser von unten eintreten liefs, und dieses mit einer Druckhöhe wirkte, die sich etwa 1 Zoll über die Oberfläche des Sandes erhob, so quoll der Sand schon stellenweise hoch auf und verlor alle Festigkeit. Wenn dagegen die Druckhöhe nur einige Linien betrug, so trat solche Bewegung nicht merklich ein und ich konnte das Wasser längere Zeit hindurch von unten nach oben durchfliefsen lassen,

*) Wenn diese Zahlen-Verhältnisse von den in §. 7 angegebenen zum Theil abweichen, so rührt dieses davon her, dafs der früher untersuchte Sand, der vom Strande selbst entnommen war, aus Körnchen von sehr verschiedener Gröfse bestand.

indem es über den Rand des vollständig gefüllten Gefäfses austrat. Für diesen Fall ergab sich durchschnittlich

$$\gamma = 2{,}0 + 4{,}4 \,.\, \varepsilon^2.$$

Wenn andrerseits das Wasser in entgegengesetzter Richtung, also von oben nach unten den Sand durchströmt hatte, so zeigte der letztere eine viel gröfsere Tragfähigkeit, und nach mehreren Versuchsreihen ergab sich durchschnittlich

$$\gamma = 14{,}6 + 12{,}4 \,.\, \varepsilon^2.$$

Die Festigkeit der Ablagerung liefs sich wesentlich noch dadurch verstärken, dafs der Sand in feuchtem Zustande eingeschüttet und in dünnen Lagen angestampft wurde. Er lagerte sich alsdann so dicht, dafs das darauf gegossene Wasser nur sehr langsam eindrang und nur tropfenweise durch die untere Oeffnung abflofs, dabei lockerten sich indessen die oberen Schichten wieder etwas auf. Bei Prüfung des festgestampften feuchten Sandes, dem kein Wasser später zugesetzt war, fand ich

$$\gamma = 12{,}7 + 62{,}3 \,.\, \varepsilon^2.$$

Hierauf untersuchte ich braunen plastischen Thon, wie solcher zur Fabrikation feiner Thonwaaren zubereitet war. Das specifische Gewicht desselben in trocknem Zustande, also nachdem er einige Stunden hindurch der Siedehitze ausgesetzt gewesen, fand ich gleich 2,26. Ich setzte ihm zunächst so wenig Wasser zu, dafs er so eben nur noch plastisch blieb, das heifst Formveränderungen annahm, ohne zu reifsen. Der Wassergehalt betrug alsdann 0,249 der ganzen Masse. Ich füllte hiermit wieder schichtenweise das bereits beschriebene Gefäfs an, indem ich durch Andrücken der jedesmal aufgelegten Masse die etwa gebildeten hohlen Räume zu beseitigen mich bemühte. Wenn alsdann einer oder der andere mit mäfsigen Gewichten beschwerte Cylinder aufgestellt wurde, so schien derselbe zunächst gar keinen Eindruck zu machen, doch sank er nach und nach tiefer ein, bis etwa nach einer halben Stunde die Bewegung ganz aufhörte, oder wenigstens unmerklich geringe wurde. Es gab sich also wieder die auffallende Verschiedenheit gegen die mit Sand angestellten Messungen zu erkennen, in welchen das Gleichgewicht momentan eintrat.

Eine zweite eben so auffallende Verschiedenheit zeigten die Reihen der mit denselben Cylindern gemachten Beobachtungen, indem nach und nach gröfsere Gewichte aufgelegt wurden. Die

Gewichte waren nämlich, abgesehn von dem constanten Theile derselben, der die erste Bewegung veranlaſste, nicht mehr dem Quadrate der Einsenkung, sondern deren erster Potenz proportional.

Die Mittelwerthe mehrerer Reihen von Beobachtungen mit dem dünneren Cylinder ergaben

$$\gamma = 17{,}9 + 11{,}1 \,.\, \varepsilon.$$

Die Summe der Quadrate der übrig bleibenden Fehler betrug alsdann 17,3 während diese Summe sich auf 2600 stellte, wenn ich ε in der zweiten Potenz einführte. Die mit dem stärkeren Cylinder angestellten Versuchsreihen ergaben dagegen die wahrscheinlichsten Werthe der Constanten unter Berücksichtigung der ersten Potenz der Geschwindigkeit und zwar wieder auf die Grundfläche von 1 Quadratzoll reducirt

$$\gamma = 30{,}1 + 23{,}7 \,.\, \varepsilon.$$

Die Summe der Fehlerquadrate stellte sich auf 18,4 während dieselbe bei Einführung von ε^2, 6700 betrug.

Hiernach leidet es keinen Zweifel, daſs selbst bei diesem sehr steifen Thone das Verhalten sich dem der Flüssigkeiten anschlieſst, und die Tiefe der Einsenkung, also das Volum der verdrängten Masse, dem Drucke annähernd proportional ist.

Die Vergleichung dieser beiden Resultate läſst indessen noch einen andern sehr wesentlichen Unterschied gegen die mit dem Sande angestellten Beobachtungen erkennen. Bei Reduction der Gewichte auf die Einheit der drückenden Bodenfläche zeigt sich nämlich, daſs die Einsenkungen keineswegs gleich sind, vielmehr bei gleichem Drucke der Coefficient der Einsenkung ungefähr der Ausdehnung dieser Fläche proportional ist. Annähernd findet dasselbe auch bei dem ersten, oder dem constanten Gliede statt. Es würde sich daraus ergeben, daſs für verschiedene drückende Flächen die Einsenkungen den Quadraten dieser Flächen oder den vierten Potenzen ihrer Durchmesser umgekehrt proportional sind. Dieses Resultat stellt sich auch nicht als unwahrscheinlich heraus, insofern die verdrängten Theilchen der steifen Masse um so schwieriger der drückenden Fläche ausweichen können, je weiter der Weg ist, den sie seitwärts machen müssen.

Schlieſslich stellte ich aus demselben Thon noch einen dicken Brei dar, welcher ungefähr diejenige Consistenz hatte, welche der Töpfer beim Setzen der Oefen dem Thone giebt. Der Wasser-

gehalt betrug in diesem Falle 0,306 der ganzen Masse. Beide Cylinder ergaben, wenn ich den Druck auf die Fläche von 1 Quadratzoll reducirte, ungefähr gleiche Resultate, nämlich

$$\gamma = 2{,}21 + 2{,}31 \, . \, \varepsilon.$$

Der Versuch, die zweite Potenz der Einsenkung einzuführen, stellte die Beobachtungen viel weniger dar, und zwar betrugen die Summen der Quadrate der übrig bleibenden Fehler ungefähr das Hundertfache der Summen, die sich aus der ersten Annahme ergaben.

Bei diesen Beobachtungen zeigten sich noch andre Erscheinungen, welche über die Art des Ausweichens des Bodens unter dem Cylinder einigen Aufschluſs geben. In den möglichst lose aufgeschütteten trocknen Sand drangen die Cylinder ein, ohne daſs irgend eine Erhebung der Oberfläche umher bemerkt werden konnte. Es bildete sich vielmehr eine trichterförmige Vertiefung daneben, die Cylinder führten also, obwohl beide glatt und polirt waren, den sie zunächst berührenden Sand mit herab, und sowohl die an der Basis verdrängte Masse, wie der Inhalt des hohlen Trichters, drängten sich nur in die Zwischenräume der lockern Schüttung und verdichteten dieselbe.

War der trockne Sand dagegen schichtenweise fest angestampft, so erschien zwar wieder eine solche conische Höhlung, jedoch von geringerer Ausdehnung und ein schwaches Aufsteigen der Oberfläche war bemerkbar.

Im fest abgelagerten feuchten Sande, der also nur wenig benetzt war, entstand dagegen rings um den Cylinder eine starke Fuge, und in einiger Entfernung schwoll die Oberfläche etwas auf.

War das Wasser von unten nach oben durch den Sand hindurchgedrungen, so gab sich die dichtere Ablagerung der Masse nur dadurch zu erkennen, daſs die Oberfläche sich mit Wasser bedeckte, eine Erhebung derselben war aber nicht zu bemerken.

Bei den Thonschüttungen trat dagegen das Ansteigen der Oberfläche sehr deutlich hervor, und zwar erhob sich bei dem weichen Thone die Masse in der Nähe des Cylinders besonders hoch, während bei dem steiferen Brei die Anschwellung sich mehr über die ganze Oberfläche verbreitete und daher weniger auffallend blieb.

Aehnliche Messungen über die Tragfähigkeit des Bodens in gröſserem Maaſsstabe sind nicht bekannt geworden. Die Bestimmung der Tiefe der Fundirung, wie die der Ausdehnung der tra-

genden Fläche pflegt daher ziemlich willkührlich zu erfolgen. Ob jedesmal das richtige Maafs getroffen wird, dürfte zweifelhaft sein. Nur in den nicht seltenen Fällen, dafs Senkungen eintreten, stellt es sich heraus, dafs man für die Sicherheit nicht genügend gesorgt hat, es bleibt aber ungewifs, ob man nicht vielfach ohne Grund die Fundirungen zu weit ausdehnt, und dadurch unnöthiger Weise die Kosten vergröfsert.

Wie sich aus vorstehenden Beobachtungen ergiebt, stellt sich bei weichem Boden, der an einer Stelle stark belastet wird, das Gleichgewicht dadurch her, dafs zur Seite Erhebungen eintreten. Bei Gebäuden, für deren Sicherung man zu sorgen pflegt, tritt dieser Fall nicht leicht ein, wohl aber bei hohen Dammschüttungen, die durch Sümpfe und Wiesen mit weichem Untergrunde geführt werden. In stark durchnäfstem Thon, und so auch in vegetabilischer Erde, wenn sie stark mit Wasser durchzogen ist, pflegen Dämme nicht nur zu versinken, sondern daneben entstehn Anschwellungen, die zuweilen den Damm überragen. Dabei nimmt aber das umgebende Terrain eine merkliche Seitenbewegung an, die sich namentlich dadurch zu erkennen giebt, dafs Seitengräben in der Nähe zugeschoben werden, indem die nächsten Ufer derselben weiter zurückweichen, als die gegenseitigen. Bei Ausführung der Bahn von Nantes nach Lorient und Brest mufste eine Niederung durchbaut werden, die auf 60 Fufs Tiefe mit weichem Schlamm gefüllt war. Die aufgebrachte Erde versank nicht nur, sondern bei fortgesetzter Schüttung erhob sich im Abstande von 100 bis 200 Fufs der Boden sogar bis gegen 30 Fufs über sein früheres Niveau. Aehnliche Erscheinungen, wenn auch in geringerer Ausdehnung, wiederholen sich vielfach bei der Ausführung von Eisenbahndämmen. So hob sich der Thonboden in solchem Falle bei Oldesloe neben der Bahn zwischen Hamburg und Lübeck weit über die Dammschüttung, und indem seine obern Schichten weniger feucht waren, so erschienen die abgebrochenen Massen wie mächtige Felsblöcke, die in langer Reihe aus dem Boden emporgestiegen waren.

Solche Bewegungen sind besonders bei Brücken und Durchlässen, die immer an den niedrigsten Stellen erbaut werden, höchst bedenklich. Dem Zusammenschieben der Stirnpfeiler kann man zwar durch gegenseitige Verstrebung oder durch eingespannte Gewölbe begegnen, aber häufig tritt dabei noch eine Seitenbewegung

ein, wodurch die Stirnpfeiler zerrissen werden. Namentlich geschieht dieses, wenn die Fundirung auf Pfahlrosten gewählt und für eine sichere Verbindung des Rostes in der Längenrichtung des Pfeilers nicht gehörig gesorgt ist. Die Erde zwischen den Pfählen wird alsdann in Folge der starken Belastung, eben so, wie die unter dem Damme lagernde, seitwärts gedrängt, und da die Pfähle, wenn auch gegen tieferes Eindringen gesichert, doch keinen festen Stand haben, so werden sie theils nach der einen und theils nach der andern Seite gedrängt. Der Rost zerreifst und es öffnet sich eine Quer-Fuge durch das Gewölbe, welches die beiden Stirnpfeiler verbindet. Ereignisse dieser Art sind keineswegs selten, am auffallendsten sah ich solche Brüche in dem Durchlasse unter der hohen Dammschüttung ohnfern Feucht bei Nürnberg, welche den Ludwigs-Canal trägt, und wo man die beiderseitigen Stirnmauern durch starke Anker von etwa 200 Fufs Länge gegen weiteres Ausweichen sichern mufste.

Um in solchem Falle eine zu starke Verbreitung der aufgeschütteten Erdmasse zu verhindern, hat man verschiedene Sicherungs-Maafsregeln versucht. Am erfolgreichsten wäre gewifs die Drainirung des Bodens, doch ist solche wegen der niedrigen Lage meist unausführbar. Der Versuch, das Terrain an beiden Seiten und zwar bis zu gröfserer Tiefe durch Comprimirung zu befestigen, indem man etwa Gräben aushebt und diese mit Steinen anfüllt, ist schon wegen der grofsen Kosten gemeinhin unausführbar. Der Erfolg bleibt aber auch ungewifs, wenn die Belastung nicht so stark ist, dafs bis zu grofser Tiefe die Compression eintritt. An einzelnen Stellen, wie etwa neben Brücken und Durchlässen, haben Erdschüttungen zur Seite, die starke Widerlager bilden, in vielen Fällen den Bewegungen Einhalt gethan; gemeinhin bleibt aber nur übrig, die Erdschüttungen so lange fortzusetzen, bis endlich das fernere Versinken aufhört, doch darf man in dieser Beziehung das Gleichgewicht, welches sich einige Zeit hindurch einstellt, nicht als vollständig gesichert ansehn, da vielfach die Bewegungen wieder später eintreten und es Beispiele giebt, dafs nach Zwischenräumen, die Decennien umfassen, die Dämme wieder versinken. So erzählt Tetens *), dafs der 1757 ausgeführte Seedeich vor der Wilster-Marsch bei einer

*) Reisen in die Marschländer an der Nordsee. Leipzig 1788. Seite 299.

vorgenommenen Erhöhung um das Jahr 1780 plötzlich um 14 Fuſs versank, und dieselbe Erscheinung wiederholte sich nach einem Zwischenraume von 86 Jahren vor Kurzem aufs Neue.

Indem der Untergrund keineswegs immer von gleichmäſsiger Beschaffenheit ist, so geschieht es nicht selten, daſs die obern Schichten eine gewisse Festigkeit besitzen, welche den darunter befindlichen fehlt. Der Boden ist alsdann im Stande, mäſsige Lasten zu tragen, doch hört seine Widerstandsfähigkeit auf, sobald er einem stärkeren Drucke ausgesetzt wird. Bei Ausführung der Oesterreichischen südlichen Bahn muſste das Laibacher Moor durch eine Dammschüttung überbaut werden. Dem seitlichen Ausweichen des Bodens suchte man durch Steinschüttungen zu begegnen und man prüfte die Tragfähigkeit der dazwischen befindlichen weichen Masse, indem man einen Pfahl, dessen stumpf abgeschnittene Grundfläche 1 Quadratfuſs maaſs, darauf stellte und durch eine Führung dafür sorgte, daſs er nur lothrecht herabsinken konnte. Indem man denselben mit 25 Centnern belastet hatte, hörte seine Einsenkung auf, sobald man dagegen noch 10 Centner aufbrachte, versank er vollständig im Moore.

Es ergiebt sich hieraus, wie wichtig es ist, vor der Ausführung eines Baues, die Beschaffenheit des Untergrundes durch hinreichend weit ausgedehnte Bohrungen genau zu ermitteln, und dabei nicht unbeachtet zu lassen, daſs die mit dem Bohrer ausgehobene Masse bei starkem Zudrange von Wasser oft eine ganz andre Consistenz zeigt, als der Boden im natürlichen Zustande hatte.

Wenn man von künstlichen Fundirungen absieht, also die Fundament-Mauern unmittelbar auf den gewachsenen Boden stellen will, so läſst sich diejenige Tiefe, welche volle Sicherheit bietet, vielfach nicht erreichen, weil theils die Kosten für die Erdarbeiten und Fundamentmauern zu bedeutend ausfallen, theils aber auch ein so starker Wasserzudrang zu befürchten ist, daſs die Arbeit dadurch aufs Neue vertheuert oder wohl gar unmöglich wird. In diesem Falle bietet sich zunächst das Mittel dar, daſs man die tragende Fläche des Fundaments vergröſsert. Nach Maaſsgabe dieser Vergröſserung müssen beim Nachsinken um so mehr Erd- oder Sandtheilchen verdrängt werden, und die doppelt so groſse Fläche kann unter übrigens gleichen Umständen auch das doppelte Gewicht tragen. Dazu kommt noch, daſs der Weg, den

die einzelnen Erdtheilchen beim Ausweichen zurücklegen müssen, durch die Vergröfserung der tragenden Fläche verlängert wird, oder die Tragfähigkeit des Fundaments gewinnt durch die Verbreitung desselben noch mehr, wenigstens ist dieses zu erwarten, wenn die Erdtheilchen eine merkliche Reibung gegen einander ausüben. Gewissermafsen wird die Verbreitung des Fundaments fast jedesmal eingeführt, indem man die Mauern mit Banketen versieht. Auch manche andre künstliche Fundirungsarten bezwecken allein dasselbe, wie der liegende Rost und die Sandschüttungen, wovon später die Rede sein wird.

Demnächst trifft es sich zuweilen, dafs die Erdschicht, welche nicht die nöthige Festigkeit besitzt, sich nur etwa 10, 20 bis 30 Fufs tief erstreckt und hier auf Felsboden oder doch auf einer festeren Schicht lagert. In solchem Falle kann man die Last des Gebäudes durch eingerammte Pfähle auf den festen Untergrund übertragen und dieses ist der eigentliche Zweck des Pfahlrostes. Perronet, dem wir die wichtigsten Belehrungen über die Grundpfähle und über das Einrammen derselben verdanken, stellt ausdrücklich die Regel auf, dafs die Pfähle immer bis zum Tuff oder Fels herabgetrieben werden müssen *). Dabei hat Perronet freilich nur eine gewisse Localität vor Augen gehabt, wie solche sich in Frankreich oft vorfinden mag, nichts desto weniger mufs man anerkennen, dafs der Pfahlrost die volle Sicherheit nur bietet, wenn er eine feste Schicht in der Tiefe erreicht.

Der Pfahlrost wird indessen auch häufig angewendet, wenn diese Bedingung nicht stattfindet und der Boden in der gröfseren Tiefe unverändert dieselbe geringe Festigkeit beibehält, die er oben hat. In diesem Falle erreicht man noch denselben Vortheil, welchen die Tieferlegung des Fundaments gleichfalls herbeiführen würde, man vertheilt den Druck auf die sämmtlichen Schichten, welche von den Pfählen durchdrungen sind, weil überall, wo die Reibung gegen den Pfahl wirksam ist, ein Theil des Druckes übertragen wird. Auch diese Anwendung des Pfahlrostes ist unter Umständen angemessen, man darf jedoch nicht unbeachtet lassen, dafs der Vortheil dabei zuweilen so geringe ausfällt, dafs er die

---

*) *Mémoire sur les pieux et pilotis* in dem grofsen Werke *Description des Ponts de Neuilly etc. par Perronet.* Paris 1788. pag. 588.

sehr bedeutenden Kosten, die mit dieser Fundirungsart verbunden sind, nicht aufwiegt. Dabei treten zuweilen noch unerwartete und sehr störende Erscheinungen ein. Man hat zuweilen Baugruben ausgehoben, worin wegen des zähen Thones der Wasserzudrang so unbedeutend war, dafs eine Handpumpe zur Wasserwältigung genügte, sobald man aber zu rammen anfing, so eröffnete sich neben jedem Pfahle ein Quell, und das Wasser nahm zuletzt so sehr überhand, dafs es selbst durch die kräftigsten Maschinen nicht mehr zu beseitigen war und man versuchen mufste, durch Aenderung der beabsichtigten Fundirungsart die Quellen einigermafsen zu stopfen. Ein Fall dieser Art ereignete sich beim Bau der Brücke zu Orleans. Perronet, der diese Brücke weder projectirt hatte, noch auch an der Ausführung unmittelbar betheiligt, sondern nur mit der Abnahme des Baues beauftragt war, beschreibt die Verlegenheiten, welche auf solche Art veranlafst wurden und die verschiedenen Mittel, die man dagegen in Anwendung zu bringen versuchte. Indem man aber den Rost nur auf die Pfähle aufzubringen pflegt, nachdem der Wasserspiegel bis zu denselben gesenkt ist, so fordert diese Fundirungsart meist eine starke Wasserwältigung und oft die Umschliefsung mit Fangedämmen. Dafs durch anhaltendes Pumpen der Untergrund wesentlich verschlechtert werden kann, namentlich, wenn er aus feinem Sande besteht, ist schon oben (§. 7) erwähnt worden *).

Wenn die Pfähle den festen Untergrund erreichen, oder den umgebenden Boden stark comprimiren, so sinkt das von ihnen getragene Fundament nicht merklich unter der Last des darauf gestellten Gebäudes. Anders verhält es sich, wenn auf einem nicht ganz festen Baugrunde nur die Verbreitung des Fundamentes vorgenommen wird. Die Senkung, die alsdann erfolgt, ist zwar meist nicht nachtheilig, sobald sie ziemlich gleichmäfsig am ganzen Gebäude sich zeigt, dagegen wird der Verband in den Mauern und Wänden aufgehoben, wenn ein Theil des Baugrundes sich stärker senkt, als der andere. Man mufs daher eine ziemlich gleichmäfsige

*) Ueber die verschiedenen Fundirungs-Arten auf losem Grunde hat Croizette Desnoyers eine Reihe wichtiger Erfahrungen zusammengestellt, die er beim Bau der Bahn von Nantes nach Brest zu machen Gelegenheit hatte. *Mémoire sur l'établissement des travaux dans les terrains vaseux de Bretagne.* In den *Annales des ponts et chaussées.* 1864. *I. p.* 273.

Senkung überall darzustellen suchen und deshalb die theilweise Anwendung des Pfahlrostes möglichst vermeiden. Hughes *) erzählt, wie beim Bau einer Wasserleitung einzelne Pfeiler auf Felsen und andere auf aufgeschwemmten Boden aufgeführt waren und sämmtlich unversehrt standen, ein Pfeiler aber, der halb auf Erde und halb auf Felsen gegründet war, spaltete plötzlich auf 30 Fufs Höhe. Bei grofser Ausdehnung der Gebäude und wenn der Boden sehr verschiedenartig ist, kann man es zuweilen nicht vermeiden, verschiedene Fundirungsarten zu wählen. Alsdann mufs man sich aber auf ein ungleichmäfsiges Setzen gefafst machen, und damit dieses ohne grofsen Nachtheil für das Gebäude eintreten kann, so ist es am vortheilhaftesten, die einzelnen Theile nur stumpf gegen einander zu stellen.

Der liegende Rost sowohl, als der Pfahlrost müssen so tief gesenkt werden, dafs sie immer unter Wasser bleiben, weil sie bei abwechselnder Nässe und Trockenheit ihre Festigkeit verlieren und alsdann nicht mehr den darauf gestellten Bau tragen können. Aus diesem Grunde ist es Regel, die Roste immer unter den tiefsten Wasserstand der daneben befindlichen Gewässer oder unter das tiefste Grundwasser zu legen. Man mufs indessen darauf Rücksicht nehmen, dafs natürliche oder künstliche Veränderungen im Bette des Baches oder des Flusses möglicher Weise eine noch tiefere Senkung des Wasserspiegels herbeiführen können, als bisher beobachtet worden. Die meisten Stromregulirungen haben den Erfolg, dafs der Abflufs befördert und sonach der Wasserspiegel gesenkt wird, daher geschieht es nicht selten, dafs die Roste der Brückenpfeiler und der sonstigen Bauwerke neben dem Strome über Wasser treten, wenn sie auch bisher immer davon bedeckt waren.

Zur Darstellung dieser tief liegenden Roste wird es nöthig, die Baugrube bis unter das Grundwasser auszuheben und so lange vom zudringenden Wasser frei zu halten, bis man den untern Theil des Baues vollendet hat. Dazu kommt noch, dafs gewisse Bauten, wie Schleusen und Freiarchen, noch in einer bestimmten Tiefe unter dem kleinsten Wasser, andre dagegen, wie etwa Brückenpfeiler, unter der Sohle des Flufsbettes fundirt werden müssen. Aus diesen Gründen ist es oft erforderlich, bis zu einer grofsen Tiefe unter

---

*) *Theory, practice and architecture of bridges. Sect. VI. p.* 59.

den Wasserspiegel herabzugehn und zwar zuweilen in dem Flufsbette selbst. Es wird alsdann nöthig, die Baugrube mit wasserdichten Umfassungswänden oder sogenannten Fangedämmen zu umgeben, auch wohl den Boden gegen ein zu heftiges Durchquellen des Wassers zu sichern und das zudringende Wasser herauszuschaffen. Die Schwierigkeiten, die hierbei eintreten, sind häufig sehr grofs, und um so unangenehmer, als man selten vorhersehn kann, in welcher Art sie sich zeigen werden. Aus diesem Grunde ist man namentlich in Frankreich seit langer Zeit bemüht gewesen, in solchen Fällen andere Fundirungsarten zu wählen, wobei man diese Wasserwältigung umgeht, die höchst unsicher, kostbar und nicht selten für den Baugrund nachtheilig ist. Hauptsächlich dienten hierzu zwei Methoden, nämlich die Bétonbettung und die Fundirung in Senkkasten oder Caissons. Nach dem ersten Verfahren wird der an sich feste Untergrund durch Baggern und unter freiem Zutritt des Wassers bis zur nöthigen Tiefe ausgehoben, und mit starken Bétonschichten bedeckt, d. h. mit einem Mauerwerk, welches aus Steinstücken und Mörtel besteht und ohne Verband in die Baugrube geschüttet wird. Ist der Béton erhärtet, so sind alle Quellen, die sonst durch den Boden hervorbrechen würden, gestopft, man kann leicht die Baugrube trocken legen und hat dadurch noch die beiden wichtigen Vortheile erreicht, dafs der Untergrund gegen jede Auflockerung durch Quellen gesichert ist und die Bétonlage schon den untern Theil des Fundaments bildet. Was die Caissons betrifft, so fand die Anwendung derselben anfangs weniger Eingang, doch hat diese Methode in neuster Zeit manche wesentliche Verbesserungen erfahren, woher sie besonders geeignet erscheint, um in weichem Untergrunde die Fundirung tief herabzuführen. Sie schliefst sich gegenwärtig ziemlich nahe an die vielfach gewählte Gründung auf gemauerten Brunnen an, und unterscheidet sich von dieser vorzugsweise durch die viel gröfseren Dimensionen der ummauerten Räume.

Um das Eindringen des Wassers in die Baugrube zu verhindern, und um bis zu grofser Tiefe durch gewöhnliches Aufgraben herabgehn zu können, wird gegenwärtig vielfach der verstärkte Luftdruck benutzt, und zwar nicht nur in der Taucherglocke und in sonstigen Taucher-Apparaten, sondern in grofsen luftdichten eisernen Kasten, welche die ganzen Fundamente bilden. Den neue-

ren Fortschritten des Maschinenbaues verdankt diese Methode ihren Ursprung, denn die Darstellung, Sicherung und gleichmäfsige Versenkung dieser Kasten beruht allein auf der äufsersten Schärfe, womit alle einzelnen Theile der Apparate ausgeführt und mit einander verbunden werden.

Im Allgemeinen wäre über die verschiedenen Fundirungs-Arten hier noch zu erwähnen, dafs der Druck eines Bauwerkes nicht immer senkrecht wirkt, wie bei einer unmittelbaren und gleichmäfsigen Belastung der Fall sein müfste. Namentlich bildet sich ein starker horizontaler Druck, wenn das darauf ruhende Mauerwerk das Widerlager eines Gewölbes ist, oder wenn es eine Erdschüttung, die sich dagegen lehnt, halten soll. Die Mittelkraft, welche sich aus diesem horizontalen und dem senkrechten Drucke zusammensetzt, mufs möglichst in die Mitte des Fundaments oder doch wenigstens in die Basis desselben treffen, ohne sich dem Rande zu nähern, weil sonst der Widerstand auf der einen Seite nicht genügen möchte, um eine Drehung zu verhindern. Wird das Fundament in diesem Falle noch horizontal gehalten, so kann möglicher Weise und namentlich, so lange der Mörtel noch nicht erhärtet ist, ein Verschieben zwischen den einzelnen Schichten oder auf dem Roste erfolgen. Wenn diese Gefahr auch nicht grofs ist, und vielleicht nur sehr selten eintritt, so hat es andrerseits auch keine Schwierigkeit, die Fundirung so anzuordnen, dafs sie dem jedesmaligen Drucke, mag er vertical oder schräge gerichtet sein, den kräftigsten Widerstand entgegensetzt. In England verfolgt man dieses Princip mit grofser Consequenz, indem man die Schichten des Fundaments normal gegen die Richtung des Druckes legt, man begegnet dadurch vollständig der angedeuteten Gefahr. Besonders ist dieser Umstand bei Anwendung eines Pfahlrostes von Wichtigkeit, und manche Unfälle an massiven Brücken sind, wie es scheint, nur dadurch veranlafst, dafs die Pfähle, deren oberer Theil in losem Boden steckt und die sonach einem horizontalen Drucke wenig Widerstand entgegensetzen, durch solchen wirklich verschoben oder gebogen wurden. Bei den neuern Bauten in England wird durch die schräge Stellung der Pfähle jeder Besorgnifs dieser Art vorgebeugt, und wenn es sich auch nicht leugnen läfst, dafs die Arbeit beim Rammen, sowie beim Legen des Rostes und beim Zuhauen und Versetzen der Steine oder beim Vermauern

der Ziegel etwas erschwert wird, sobald nicht mehr das Loth und die gewöhnliche Setzwage unmittelbar angewendet werden dürfen, sondern gewisse schräge Neigungen darzustellen sind, so ist diese Rücksicht doch nicht so wesentlich, dafs sie die Annahme einer solideren Construction verhindern könnte. Hierbei tritt aber auch noch eine Ersparung an Material ein, weil alle Verbandstücke und Bausteine so angewendet werden, dafs sie dem jedesmaligen Drucke den stärksten Widerstand entgegensetzen, und man darf daher nicht mehr den Ausfall an Festigkeit, welchen der schräge Druck bewirkt, durch gröfsere Massen und durch Vermehrung der Unterstützungspunkte decken.

§. 32.
Fundirung auf festem Boden.

Wenn ein Gebäude auf Felsboden ausgeführt werden soll, so empfiehlt es sich, wie bereits erwähnt, tiefer herabzugehn, als die Einwirkung des Frostes und der Nässe sich erstreckt. Im Uebrigen hat man in diesem Falle gewöhnlich kein Einsinken des Fundaments zu befürchten und kann daher mit voller Sicherheit die schwersten Gebäude aufführen. Dennoch trifft es sich zuweilen, dafs der Felsboden nicht die Festigkeit und Tragfähigkeit hat, die man im Allgemeinen voraussetzen darf. Hierher gehört zunächst der Fall, dafs mancher Boden einer starken Verwitterung unterworfen ist und daher Gebäude, welche ohnfern steiler Abhänge aufgeführt werden, mit der Zeit in Gefahr gerathen. Es zeigt sich dieses nicht selten bei den Ruinen alter Burgen in Gebirgsgegenden. Unter dem Wasser pflegt das Gestein sich im Allgemeinen besser zu halten, als wenn es abwechselnd der Nässe und Trockenheit ausgesetzt ist, nichts desto weniger kann eine starke Strömung oder auch der Wellenschlag einen Felsen gleichfalls angreifen und nach und nach Theile desselben lösen, so dafs das Ufer zurückweicht. Diese Wirkungen sind freilich gemeinhin sehr langsam, aber dennoch unverkennbar. Die Flufsbetten in Gebirgsgegenden zeigen vielfach solche Einbrüche, woselbst das Ufer sich ganz steil erhebt, während gegenüber auf der convexen Seite eine flache Verlandung sich gebildet hat, die ursprünglich hier nicht existirte. Ebenso zeigen auch felsige Meeresufer die deutlichsten Spuren des

dauernden Abbruches, der im Laufe der Zeit noch durch das Zurückweichen der Küste sich zu erkennen giebt, wie man dieses z. B. längs der französischen und englischen Küste am Kanale bemerkt.

Demnächst ist der Felsboden zuweilen auch nicht sicher unterstützt. Gewöhnlich sind die tieferen Formationsschichten die festeren, und im Allgemeinen darf man daher, sobald der Felsboden erreicht ist, nicht mehr besorgen, dafs derselbe bei starker Belastung die darunter befindlichen Schichten noch zerbrechen oder eindrücken möchte, nichts desto weniger tritt dieses Bedenken doch zuweilen ein. So traf man bei dem Durchstiche bei Blisworth auf der London-Birmingham Eisenbahn eine jüngere Kalksteinformation an, die auf Thonschichten lag, von denen die obern stark mit Quellen durchzogen waren und keine Festigkeit hatten. Man mufs also, wann die geognostischen Verhältnisse einige Zweifel begründen, die Bohrungen noch in den Felsen hinein fortsetzen, um sich zu überzeugen, dafs derselbe eine gehörig sichere Unterstützung bietet und die nöthige Mächtigkeit besitzt.

Es kann auch geschehn, dafs die feste Formation, die man antrifft und für gewachsenen Felsen hält, nur aus losem Geschiebe besteht, welches durch starke Fluthen oder auf andre Art herbeigeführt wurde. Besonders ist dieser Fall bei Fundirungen unter Wasser denkbar, wo eine genaue Untersuchung des Bodens gemeinhin sehr beschwerlich wird. Ein Beispiel hiervon beschreibt Vicat bei Gelegenheit des im Jahre 1822 und 1823 ausgeführten Baues der Brücke zu Souillac über die Dordogne *). Der Grund, worauf der erste Pfeiler am linken Ufer fundirt wurde, zeigte in dem untern Drittel von der Länge des Pfeilers eine ganz ebene und horizontale Oberfläche des Kalkfelsens, im Uebrigen bemerkte man nur einige scharf zulaufende Felsspitzen und tiefe Spalten, die mit Kies und Steinschutt angefüllt waren. Man versuchte daselbst Pfähle einzurammen, doch trafen diese bald auf stark geneigte Felsflächen und nahmen alsdann eine schräge Stellung an, oder krümmten sich und zerbrachen die Stützen, womit man sie lothrecht halten wollte. Auf diese Art war das Rammen unmöglich. Ein Taucher liefs sich durch einige Felsblöcke, die er vorfand,

---

*) *Nouvelle Collection de dessins relatifs à l'Art de l'Ingénieur.* 1821—1825. *I. Partie.*

täuschen und sagte aus, dafs er den gewachsenen Felsen an mehreren Stellen vortreten sähe. Das Sondireisen widerlegte nicht diese Behauptung, und da die Jahreszeit weit vorgerückt war und zu genauen Untersuchungen keine Zeit blieb, so mufste man sich rasch entschliefsen. Man nahm also an, dafs der Kies sich weder comprimiren, noch auch ausweichen würde und versenkte ohne Weiteres den Béton. Nachdem dieser erhärtet war, brachte man im folgenden Jahre die Probe-Belastung auf und zwar ruhte dieselbe auf einer starken hölzernen Rüstung. Von dieser Belastung waren etwa zwei Drittheile aufgepackt, als man bemerkte, dafs die Oberfläche des hölzernen Bodens, die früher horizontal gewesen war, stromaufwärts sich um nahe einen Zoll senkte und stromabwärts um 1½ Linien hob. Diese beiden Messungen waren etwa in einem Abstande von 50 Fufs von einander angestellt. Man untersuchte sogleich mit möglichster Aufmerksamkeit alle Fugen in dem Mauerwerke der Probe-Belastung, die man zu diesem Zwecke von aufsen mit Mörtel verstrichen hatte, worin sich auch nicht der kleinste Riss zeigte. Sonach blieb kein Zweifel, dafs der ganze Bétonkörper sich stromaufwärts neigte und ohne zu brechen um eine Querachse in der Nähe des Hinterkopfes des Pfeilers sich drehte. Dieser Hinterkopf selbst, der sich gehoben hatte, mufste augenscheinlich seine Unterstützung verloren haben und konnte nur durch die Cohäsion des Mörtels schwebend erhalten werden. Der Béton war damals vor 10 Monaten versenkt worden und die Probebelastung betrug 3¾ Millionen Pfund. Die Belastung wurde nun mit möglichster Schnelligkeit vervollständigt und bis auf 5½ Millionen Pfund gebracht. Plötzlich brach mit heftigem Krachen der etwa 16 Fufs starke Bétonkörper nahe auf ein Drittel seiner Länge auseinander. Der kleinere, stromabwärts belegene Theil desselben senkte sich wieder und behielt im Ganzen nur eine Neigung von 3½ Linien, während der andere gröfsere Theil sich neben dem Bruche um 6½ Linien senkte und am Vorkopfe um 6 Zoll tiefer war. Während der nächsten 8 Monate zeigte sich nicht mehr eine fernere Senkung und die Quer-Achse des Pfeilers hatte die horizontale Richtung beibehalten. Man erweiterte nunmehr die Bruchfuge im Béton, so dafs sie gefüllt werden konnte, verankerte die untersten Steinschichten des Pfeilers mit einander, sicherte den Fufs des Fundaments durch eine starke Steinschüttung und ver-

minderte endlich, soviel es möglich war, die Belastung, indem man in der Uebermaurung des Pfeilers eine cylindrische Oeffnung anbrachte. Eine weitere Bewegung trat bei der Fortsetzung des Baues nicht ein, die erwähnten Erscheinungen liefsen aber keinen Zweifel darüber, dafs man den Pfeiler nicht auf gewachsenen Felsboden, sondern auf lose Blöcke gestellt hatte.

Der gewachsene Felsboden verliert zuweilen durch bergmännische Arbeiten seine natürliche Festigkeit, namentlich in Gegenden, wo Steinkohlen gewonnen werden, weil dabei die gröfsten Massen gefördert werden und Erdstürzungen sich daher am häufigsten wiederholen. Man pflegt zwar bei der Anlage von Gebäuden solche Stellen zu vermeiden, doch bemerkt man in Chausseen zuweilen die Senkungen, die hierdurch entstanden sind. Die vielfachen und bedenklichen Sackungen und Trennungen, die man an einzelnen Stellen in den Gebäuden der Stadt Essen im Regierungs-Bezirk Düsseldorf bemerkt, stehen vielleicht mit den darunter liegenden in früherer Zeit ausgebeuteten Kohlen-Flözen in Beziehung, wiewohl die darüber angestellten Untersuchungen noch zu keinem sichern Resultate geführt haben.

Als die Brücke gebaut wurde, welche die Eisenbahn von New-Castle nach Noth Shields über ein weites Thal führt, entdeckte man in dem Boden unter den Pfeilern die hohlen Räume, welche nach der Ausbeutung der Kohlenflöze geblieben waren, und ehe man die grofse Last der Brücke darauf zu stellen wagte, wurden die Höhlungen mit Bruchsteinmauerwerk wieder ausgefüllt*). Auch in Paris, wo die Gypslager sich oft in grofser Tiefe unter dem Boden hinziehn, und in früherer Zeit, ehe die Stadt noch ihre gegenwärtige Ausdehnung hatte, gebrochen wurden, findet man zuweilen bei tiefen Fundirungen die hohen und weiten Gallerien, die schwach gestützt, der Besorgnifs Raum geben, dafs sie ganz unvermuthet einbrechen möchten. Namentlich waren diese leeren Räume bei der Anlage des Canales St. Martin und der dazu gehörigen Werke höchst bedenklich und liefsen besonders einen sehr starken Wasserverlust befürchten. Man sah sich gezwungen, die Gallerien auszufüllen, und mit einem starken und wasserdichten Mauerwerke zu bedecken.

---

*) *Theory, practice and architecture of bridges.*

Es kann sich auch ereignen, dafs andre künstliche Anlagen uf die Festigkeit des natürlichen Steines Einflufs üben, so glaubt man, dafs die an der Brücke zu Tours eingetretene Senkung zweier Pfeiler durch die vielen in der Nähe ausgeführten Artesischen Brunnen veranlafst worden. Es befindet sich nämlich in der Tiefe von 360 Fufs unter dem Wasserspiegel der Loire eine besonders ergiebige Schicht, deren Quellen bis 50 Fufs über den Sommerwasserstand des Stromes sich erheben. Diese hat man durch vielfache Bohrlöcher aufgeschlossen, aber häufig die Quellen mit so wenig Vorsicht eingefafst, dafs sie nur zum Theil an der Oberfläche erscheinen und eine grofse Wassermenge sich in den Kalkmergel ergiefst, worauf die Brückenpfeiler stehn. Die Brücke ist 1766 bis 1769 erbaut worden, und wenn sich auch schon sogleich einzelne Pfeiler senkten und einige Bogen einstürzten, so zeigte sie nach der Wiederherstellung, die 1810 beendigt wurde, doch keine Spur einer Gefahr, bis man 1835 die erwähnten Senkungen bemerkte. Die Fundamente wurden in der Art untersucht, dafs man die Pfeiler von oben bis unten durchbohrte, und es ergab sich, dafs unter dem Roste leere Räume von 1,2 und sogar von nahe 3 Fufs Höhe sich vorfanden. Beaudemoulin *) der diese Thatsachen beschreibt, meint, dafs Beschädigungen, die sich nach mehr als 60 Jahren ereigneten, durch besondere spätere Ursachen herbeigeführt sein müfsten, und als solche betrachtet er die Artesischen Brunnen in der Nachbarschaft, die kurze Zeit vorher in Ausführung gebracht waren. Es läfst sich hiergegen freilich einwenden, dafs auch sonstige Ursachen eine allmälige Ausspühlung des Grundes zwischen dem Pfeiler und dem Felsen verursacht haben mögen und die Wirkung davon sich nicht früher zu erkennen geben konnte, als bis der leere Raum eine gewisse Ausdehnung erreicht hatte, nichts desto weniger kann man die von Beaudemoulin gegebene Erklärung nicht unbedingt ganz zurückweisen, da unter gewissen Umständen auch die Quellen Veränderungen erfahren können, wodurch nachtheilige Wirkungen veranlafst werden.

Endlich ist bei Gelegenheit des Felsgrundes noch zu erwähnen, dafs derselbe, ganz abgesehn von den vulkanischen Einwirkungen,

*) *Sur les divers mouvements du pont de Tours. Annales des ponts et chaussées.* 1839. *II. p.* 86 ff.

auch durch andere Kräfte in Bewegung gesetzt werden kann. Dieser Fall tritt besonders in den geschichteten Gebirgen ein, wo das Wasser bei einer geneigten Lage der Schichten leicht die Fugen durchdringt und häufig durch Absetzen von Thontheilchen darin eine förmliche Schmiere bildet, wodurch die Bewegung um so mehr erleichtert wird. Eines der wichtigsten Beispiele dieser Art ist der am 2. Septbr. 1806 nach lange anhaltendem Regen erfolgte Einsturz einer Kuppe des Rofsberges, östlich vom Zugersee, wobei einzelne Felsblöcke von mehreren tausend Cubikfufs Inhalt eine halbe Meile weit und darüber fortgeschleudert und drei Dörfer verschüttet wurden. Es kommt indessen nicht leicht vor, dafs gröfsere Felsmassen sich auf diese Art von selbst lösen, gemeinhin sind es künstliche Anlagen, welche ein solches Ereignifs herbeiführen. Dieses kann entweder durch eine besonders starke Belastung der zunächst am Abhange befindlichen Schichten geschehn, und noch häufiger, indem man durch tiefe Einschnitte die schrägen Schichten an ihrem Fufse löst und ihnen die natürliche Unterstützung nimmt. Das Wasser, welches bisher vielleicht nur die Fuge füllte, ohne sie zu durchfliefsen, weil der untere Ausgang geschlossen war, dringt nunmehr lebhaft hindurch. Es verstärkt seinen Angriff auf das Gestein und der auf einer solchen Fuge ruhende Theil stürzt oft erst nach Jahren mit den Bäumen und Allem, was darauf befindlich ist, herab. Besonders kommt dieser Fall im Thonschiefer nicht selten vor und man mufs daher bei Bauausführungen in und auf demselben die Neigung der Schichten und die Sicherung ihres Fufses aufmerksam in Betracht ziehn.

Wenn keine Besorgnifs in Bezug auf die sichere Lage des Felsbodens besteht, worauf man den Bau stellen will, so wird zunächst die Oberfläche geebnet und zwar gewöhnlich horizontal ausgebrochen, wenigstens mufs dieses immer geschehn, wenn nur ein verticaler Druck stattfinden kann. Im entgegengesetzten Falle würde es sich auch hier rechtfertigen, die tragende Fläche normal gegen die Richtung des Druckes zu neigen, doch ist dieses gemeinhin nicht nöthig, indem bei weit gespannten Bogenbrücken, wo der stärkste horizontale Druck sich bildet, die felsigen Ufer hinreichende Höhe haben, um demselben kräftig entgegenzuwirken, und es kommt daher nur darauf an, das Fundament auch rückwärts gegen eine gehörig feste Felswand zu lehnen. Dabei ist es aber nicht noth-

wendig, dafs das ganze Fundament des Pfeilers auf derselben horizontalen Ebene aufsteht, vielmehr kann man ohne Nachtheil eine Abtreppung vornehmen und den Bau auf mehreren einzelnen, aber horizontalen, Fundamenten ruhen lassen, die stufenweise hinter einander liegen und durch senkrechte Flächen verbunden sind. Diese Anordnung hat Telford beinahe jedesmal auf Felsboden gewählt und sie auch da angewendet, wo das Gestein an einzelnen Stellen eine geringere Festigkeit zeigte oder etwas tiefer lag, in welchem Falle zugleich das Fundament auf eine entsprechende Tiefe gesenkt wurde. Zuweilen haben diese verschiedenen Stufen auch eine sehr grofse Höhe. So hebt sich z. B. das felsige Ufer am Birkwood-Burn bei Lismahago, wo Telford die massive Brücke in der Strafse von Glasgow nach Carlisle baute, auf der südlichen Seite so steil, dafs die Fundamente der Flügelmauern treppenförmig in tiefen Absätzen unter einander liegen, von denen der eine, wie Fig. 135 zeigt, sogar 30 Fufs mifst *). Eine solche Anordnung läfst sich nur da rechtfertigen, wo das Gestein so fest und auf solche Art geschichtet ist, dafs ein Abgleiten desselben unmöglich wird, die einzelnen Theile des Fundaments müssen aber durch senkrechte Wände von einander getrennt werden, denn schräge Flächen, wenn sie auch einer solideren Unterstützung des dahinterliegenden Gesteines entsprechen, darf man bei senkrechtem Drucke nicht anbringen, weil dabei eine Bewegung zu befürchten wäre. Endlich ist noch darauf aufmerksam zu machen, dafs der eigentliche Widerlagspfeiler in diesem Beispiele nicht in verschiedener Höhe fundirt ist, sondern sein Fundament, welches 8 Fufs Breite hat, vollständig in dem tiefsten Einschnitte liegt. Die Stärke dieses Pfeilers beträgt aber am Anfange des Bogens nur 5 Fufs und sonach beziehn sich die Abtreppungen nicht auf ihn, sondern nur auf die beiden Flügelmauern, welche in der Verlängerung der Stirnmauern der Brücke liegen. Diese Rücksicht war auch nothwendig, insofern das unvermeidliche Setzen des Mauerwerks die Brücke selbst in Gefahr bringen könnte, während dieses bei der getroffenen Anordnung nur in den Flügelmauern Risse erzeugen würde, die weniger nachtheilig sind.

Zuweilen hat Telford die Fundamente nur wenig in den Fels-

*) *Life of Telford.* Taf. 54.

boden eingeschnitten, wie z. B. für das Dock zu Dundee, das auf dem Rücken einer Klippe erbaut ist und wobei die schwachen Abtreppungen zu beiden Seiten nur die Unebenheiten in der Oberfläche ausgleichen. Es ist bei einem Bau von dieser Ausdehnung und Lage, und besonders wenn der Fels auch in den obern Schichten eine gehörige Festigkeit zeigt, nicht zu besorgen, dafs die Witterung noch einigen Einflufs darauf ausüben möchte, und sonach verliert der oben angeführte Grund für eine tiefe Fundirung in diesem Falle seine Bedeutung. Ein eigenthümliches Einschneiden des Fundaments kommt, wie Fig. 136*a* zeigt, noch bei der Maidenhead-Brücke auf der Great-Western Eisenbahn vor, wo das Fundament mit förmlichen Zahnschnitten in den Kalkfelsen eingreift, um die flachen Bogen von 128 Fufs Spannung gegen das Ausweichen zu sichern. Fig. 136*b* ist die Seitenansicht des Stirnpfeilers dieser Brücke *).

Andre Gebäude, welche verhältnifsmäfsig auf einer sehr kleinen Basis stehn und dabei dem stärksten Wellenschlage ausgesetzt sind, wie diejenigen Leuchtthürme, die man auf Klippen in dem Meere erbaut, werden zuweilen noch mit dem Felsgrund verbunden, indem einzelne Steine der untern Schicht in denselben eingreifen. Dieses ist z. B. bei dem Leuchtthurme auf Bell-Rock geschehn. Als man nämlich die Oberfläche der Klippe, die aus einem festen Sandsteine bestand, zur Aufnahme des Fundaments geebnet hatte, zeigten sich darin noch mehrere Vertiefungen und minder feste Stellen, die regelmäfsig ausgehauen, und worin 16 Granitquader versetzt werden mufsten. Auf solche Art bildete sich die erste unvollständige Schicht, die mittelst steinerner Dübel ebenso gegen die nächste Schicht befestigt wurde, wie dieses zwischen allen folgenden geschah.

Die Fundirung dieses Leuchtthurmes, so wie auch diejenige des Thurmes auf Eddystone bot übergrofse Schwierigkeiten, da die ganz isolirt in der See liegenden Klippen nur bei der Ebbe trocken wurden, und die Gelegenheit zur Unterbringung der Materialien und Utensilien durch Rüstungen künstlich beschafft werden mufste. Die Schwierigkeiten steigern sich aber noch wesentlich, wenn die Klippe, worauf der Thurm gestellt werden soll, tief unter dem niedrigsten Wasserstande liegt. Dieses war beim Bau des Leucht-

*) *Public works of great Britain.* Taf. 57 u. 58.

thurmes auf der Klippe Cassidaigne im Mittelländischen Meere, ohnfern la Ciotat der Fall. Dieselbe ist etwa eine halbe Meile von der Küste entfernt, den heftigsten Brandungen und starken Strömungen ausgesetzt, und besteht aus einem Kalkfelsen, dessen Kuppe nur bis 12 Fuſs unter Wasser ansteigt. Die eisernen Rüstungen, die man bei ruhiger See aufstellte, wurden vielfach beim Wellenschlage zerstört, bis es endlich gelang, sie so fest zu verbinden, daſs man die Eisenstäbe sicher anbringen konnte, an welchen die Tafeln herabgelassen wurden, innerhalb deren die Béton-Fundirung erfolgte. Der Bau wurde unter Leitung des Ingenieur Choll im Jahre 1850 ausgeführt *).

In Betreff der Fundirung auf Felsboden wäre noch zu erwähnen, daſs es in manchen Fällen vortheilhaft sein kann, wie Sganzin empfiehlt, eine an sich glatte Oberfläche absichtlich uneben und rauh zu machen, damit der Mörtel darauf gehörig haftet und man im Stande ist, gleich die erste Steinschicht in ein Mörtelbett zu versetzen. Da jedoch in vielen Fällen der Mörtel mit dem Felsen nicht hinreichend bindet, so möchte es noch passender sein, eine dünne Bétonlage, die sich an alle Unebenheiten der Oberfläche anschlieſst, auszubreiten und darüber das Mauerwerk aufzuführen. Wenn die Fundirung aber in einiger Tiefe unter dem Grundwasser vorgenommen werden soll und das Gestein klüftig und oft in jeder Richtung mit weiten Spalten durchzogen ist, so pflegt der Wasserzudrang so stark zu werden, daſs alle Versuche zur Trockenlegung der Baugrube miſsglücken. Alsdann wird die Aufbringung von starken Bétonlagen nothwendig, und nachdem selbige erhärtet sind, gelingt es erst, das Wasser zu gewältigen und das Mauerwerk darzustellen.

Der feste Baugrund beschränkt sich indessen keineswegs allein auf den gewachsenen Felsboden, sondern auch aufgeschwemmter Boden, wie Kies, Sand, Lehm und reiner Thon, sind häufig im Stande, selbst die schwersten Gebäude sicher zu tragen. Die oben erwähnten Rücksichten zur Vermeidung des Eindringens der Nässe und des Frostes muſs man bei diesen Bodenarten freilich in viel höherem Grade wahrnehmen, um den Untergrund vor Quellen möglichst zu schützen, sowie man auch verhindern muſs, daſs viel-

*) Förster's allgemeine Bauzeitung 1861. S. 187 ff.

leicht der Angriff des Wassers von der Seite den Bau in Gefahr bringt und unterwäscht.

Der reine Kies, so wie jedes gröbere Steingerölle ist bei heftigen Strömungen niedergeschlagen, woher es so sicher lagert, dafs man dabei eine lose Schüttung, ähnlich dem Triebsande, niemals befürchten darf, man mufs sich aber davon überzeugen, dafs der Kies nicht etwa auf andern lockern Schichten ruht und bei starker Belastung vielleicht selbst versinkt. Findet eine solche Besorgnifs nicht statt und hat der Kies vielmehr eine Mächtigkeit von 10 bis 20 Fufs, so kann man leichtere und schwerere Gebäude mit aller Sicherheit darauf stellen, ohne dafs man ein merkliches Nachgeben des Bodens befürchten darf. Er gewährt überdies den Vortheil, dafs er auch in der Sohle der Baugrube schon eine hinreichende Festigkeit hat und die Fundamentsteine ihre Lage unverändert beibehalten. Ein grofser Uebelstand ist dabei aber der starke Wasserzudrang, der sich sogleich einstellt, wie man unter den Wasserspiegel der nebenliegenden Flüsse oder unter das Grundwasser herabgeht. Man darf freilich hierbei nicht eine solche Auflockerung des Bodens, wie bei dem feinen Sande, befürchten, aber es giebt sich dennoch bei anhaltendem Ausschöpfen der Baugrube zu erkennen, dafs der Wasserzudrang an Stärke zunimmt, und sonach scheint es, dafs die Quellen auch hier einige Auflockerung veranlassen, oder wenigstens die Fugen stärker öffnen. In Fällen dieser Art, oder wo überhaupt im Kiesboden eine tiefe Fundirung vorgenommen werden soll, findet daher die Versenkung von Béton passende Anwendung.

In welchen Fällen der reine Sand einen festen Baugrund bildet, ist schon früher angedeutet worden. Begründet sich in dieser Beziehung keine Besorgnifs und entspricht die Mächtigkeit der Sandschicht gleichfalls dem Gewichte des darauf zu stellenden Gebäudes, so mufs man sich besonders hüten, ein starkes Ausschöpfen des Wassers in der Baugrube vorzunehmen, wodurch jedenfalls die Festigkeit der Ablagerung gefährdet wird. Auch hier ist eine Bétonbettung wieder sehr wirksam, um die Quellen zu stopfen, doch hat man zu diesem Zwecke auch andere Methoden zuweilen benutzt und auf andere Art den Sand zu bedecken und dadurch die Quellen zu sperren gesucht. Häufig zerlegt man die Baugrube in mehrere kleine Theile, und indem man jeden derselben

besonders behandelt, so schwächt man die schädliche Einwirkung des aufsteigenden Wassers. Auch der Gebrauch der Spundwände, die im Sande sich sehr regelmäſsig ausführen lassen, verhindert zuweilen schon einen zu heftigen Andrang des Wassers. Man sagt oft, daſs der Sand nicht comprimirbar sei *), doch findet diese Eigenschaft in aller Strenge nicht statt. Die einzelnen Körnchen lassen sich freilich nicht zusammendrücken und jedenfalls wird eine feste Sandschicht auch keine groſse Comprimirbarkeit zeigen, aber ganz fehlt sie ihr doch nie, denn wie fest auch der Sand bereits gelagert sein mag, so tritt bei einer starken Vergröſserung des darauf gestellten Gewichtes doch gewöhnlich ein noch näheres Zusammenrücken der Körnchen ein. Dieses ergiebt sich schon aus den von mir angestellten Beobachtungen, und die Bewegung, welche der Pfeiler der Brücke zu Souillac annahm, scheint dieses gleichfalls zu beweisen. Besonders bleibt aber die Oberfläche des Sandes sowohl im trocknen Zustande, als auch, wenn sie vom Wasser bedeckt ist, immer sehr locker. Nur wenn der Sand stark benetzt war, und das Wasser in ihm herabgesunken ist, nimmt er eine festere Lage an, und durch Abrammen kann man in diesem Falle eine recht geschlossene Lage der Körnchen hervorbringen und ein ferneres Eindrücken des Baues vermeiden. Der trockne Sand und ebenso der ganz nasse wird durch die Schläge der Handramme nur hin- und herbewegt, ohne sich dadurch fester zu lagern. Aus diesem Grunde sinken die untersten Steine des Fundamentes bei einer starken Belastung jedesmal noch etwas tiefer ein, und wahrscheinlich comprimirt sich auch die darunter befindliche Sandschicht. Dieser Erfolg pflegt indessen so geringfügig zu sein, daſs er keine wirkliche Gefahr für das Gebäude veranlaſst, besonders wenn man das Fundament nach Maaſsgabe der Belastung verbreitet und es bis zur gehörigen Tiefe unter die Oberfläche des Bodens herabführt.

Die Eigenschaft des Sandes, daſs die einzelnen Körnchen gegenseitig eine starke Reibung äuſsern und sich daher in ihrer Lage halten, und folglich auch einen verschiedenartigen Druck unter sich ausgleichen, läſst den Sand bei Fundirungen so vortheilhaft erscheinen, daſs man ihn vielfach als unterste Schicht des Fundamentes benutzt. Sein eigentlicher Zweck ist in diesem Falle

*) *Régemortes, description du pont à Moulins.* Paris 1771. *p.* 3.

aber nur, den Druck auf eine grofse Fläche zu verbreiten. Es mufs noch erwähnt werden, dafs ein festgelagerter reiner Sand bei Rammarbeiten den Pfählen einen sehr sichern Stand giebt und dafs man in solchem Boden kein Setzen des Fundamentes befürchten darf, sobald die Pfähle einigermaafsen bis zum Stehn herabgetrieben sind.

Der gröfste Uebelstand beim Sande ist der geringe Widerstand, den er dem durchfliefsenden Wasser entgegensetzt. Seine Körnchen haften nicht aneinander und folgen daher, wenn sie nicht gedeckt sind, jeder Strömung, bei ihrer Feinheit werden sie aber auch leicht gehoben und durch die Zwischenräume einer Steinschüttung und selbst durch die Fugen einer Spundwand hindurchgeführt. Der Sand gewährt sonach als Baugrund nur in dem Falle die nöthige Festigkeit, wenn kein Wasser hindurch, oder unmittelbar daneben fliefst. Aus diesem Grunde darf man in Flufsbetten auf feinen Sandboden keinen Bau stellen, oder solchen nur wenig darunter versenken, ohne einer möglichen Unterspülung sicher vorzubeugen. Dieses geschieht vielfach durch Steinschüttungen, die man nach und nach in dem Maafse verstärkt, wie sie herabsinken. Eine Ueberdeckung der umgebenden Flächen mit Béton hat man zu gleichem Zwecke auch verschiedentlich angewendet.

Die Eigenschaften des Thones sind in mancher Beziehung denen des Sandes gerade entgegengesetzt. Derselbe widersteht dem Eindringen des Wassers, wenn er gegen eine Spundwand oder eine andere ziemlich dichte Wand gestampft ist, auch bei seiner natürlichen Ablagerung läfst er keine Quellen hindurchdringen. Er widersteht ferner einem starken Drucke, wenn er gehörig trocken ist, aber wenn er mehr Wasser in sich aufgenommen hat, so ist seine Tragfähigkeit nicht nur beschränkt, sondern der Mangel derselben giebt sich auch später zu erkennen. Indem der Druck sich nach und nach in ihm ausgleicht, so sinken mit der Zeit die am stärksten belasteten Theile des Gebäudes herab, wenn sie auch Anfangs gehörig unterstützt waren, und selbst Rostpfähle, die unter dem Schlage der Ramme nicht mehr wichen, geben im Thonboden dem dauernden Drucke zuweilen nach. Ein stark durchnäfster Thon ist daher ein gefährlicher Baugrund und dieses um so mehr, als er in diesem Zustande auch dem Eindringen des Wassers wenig Widerstand entgegensetzt. Anders verhält es sich, wenn der Thon-

boden ziemlich ausgetrocknet ist. Auf solchem können freilich schwere Gebäude sich noch etwas setzen, doch meist nur unbedeutend, und man kann dieses grofsentheils vermeiden, wenn man den Boden vorher stark comprimirt. Dieses geschieht am besten, wenn man faustgrofse Steine regelmäfsig auf der Sohle der Baugrube als Pflaster ausbreitet, und mit einer Handramme fest eintreibt. Beim Bau des Primrosehill-Tunnels auf der London-Birmingham Eisenbahn wurde dieses Verfahren ausdrücklich vorgeschrieben.

In ähnlicher Weise kann man selbst einen sehr nachgiebigen Baugrund, wenn feste Schichten in mäfsiger Tiefe darunter liegen, sicher befestigen und zum Tragen grofser Lasten geschickt machen. So werden in Bremen die hohen und oft mit schweren Gütern gefüllten Packhäuser oder Speicher an der Weser nur unter denjenigen Mauern mit einem Pfahlroste versehn, die unmittelbar oder sehr nahe am Ufer stehn, während die entfernteren Umfassungsmauern und die schwer belasteten Unterzugständer oder gemauerten Pfeiler auf festgerammten Steinschüttungen ruhn. Das Verfahren dabei ist folgendes. Man gräbt den Boden so tief auf, bis man das Grundwasser erreicht, alsdann wird eine 1 bis 2 Fufs hohe Schüttung von unbrauchbaren oder zerbrochenen Ziegeln in der Richtung der Mauern ausgebreitet, und man stellt eine Zugramme, die jedoch nur aus einem dreibeinigen Bocke besteht, darüber. Der Klotz, der etwa 5 Centner schwer ist, bewegt sich in einer Schere, die ein Arbeiter hält, und mittelst deren der Schlag, ohne dafs die Ramme verstellt werden darf, einige Fufs weit seitwärts, oder vor- und rückwärts erfolgen kann. Die erste Steinlage wird hierdurch sehr schnell ins Wasser herabgetrieben, eine zweite Lage gleicher Art leistet dagegen schon mehr Widerstand, und man fährt mit dem Aufschütten von Steinen und dem Festrammen derselben so lange fort, bis endlich der Rammklotz keinen merklichen Eindruck mehr macht. Die Steine der obern Lagen werden dabei in feinen Staub zerschlagen, indem das Grundwasser sie aber durchzieht, so bilden sie auch in diesem Zustande eine feste Masse und bei gehöriger Führung des Rammklotzes nehmen sie eine ebene und horizontale Oberfläche an, worauf die untere Mauerschicht bequem versetzt werden kann. Es mufs erwähnt werden, dafs man bei Packhäusern, die theils auf solche Art fundirt sind, theils auf Pfahlrosten ruhen, keine Risse in den Mauern bemerkt, woraus

sich ergiebt, dafs diese abgerammten Steinschüttungen dieselbe Tragfähigkeit, wie der Pfahlrost haben.

In ähnlicher Weise hat man auch statt der Steine kurze Pfähle benutzt und diese letzte Methode kommt mit der Anwendung der sogenannten Füllpfähle ziemlich nahe überein, die in früherer Zeit zur Comprimirung des Grundes nicht selten benutzt wurden. In Venedig braucht man sie auch jetzt noch, und gewöhnlich bekommen daselbst die grofsen Privatgebäude keine andere Fundirung, als dafs man so viele kleine Pfählchen mit der Handramme in die ausgehobene Baugrube einschlägt, bis sie sehr schwer eindringen.

Die Eigenschaft des steifen Thons, das Wasser nicht durchzulassen, macht ihn unter vielen Verhältnissen besonders wichtig, und man hat ihn sogar benutzt, um einen künstlichen Baugrund darzustellen. Dieses war zum Theil schon von Régemortes und de Cessart geschehn, doch dehnte Telford dasselbe Verfahren auf eine früher nicht gekannte Weise aus, um Schwierigkeiten zu überwinden, die unübersteiglich schienen. Am nordöstlichen Eingange des Caledonischen Canales, nicht weit von Inverness, sollte in dem Loch-Beauley die erste Schleuse, genannt die Schleuse von Clachnacharry, erbaut werden. Hätte man sie auf das Ufer gelegt, so würde die Einfahrt der Schiffe durch das weit ausgedehnte davorliegende Watt (ein aufgeschwemmter thoniger Boden, der bei der Fluth mit Wasser bedeckt ist) noch gesperrt worden sein, und selbst durch den kostbaren Bau langer Molen oder Hafendämme, wäre die Tiefe im Vorhafen nicht dauernd zu erhalten gewesen, daher entschlofs sich Telford, die Schleuse 97 Ruthen von der Grenze des Hochwassers ab in die See hinein zu verlegen. Der Grund war an dieser Stelle so weich, dafs eine 55 Fufs lange eiserne Stange darin versank, woher an gewöhnliche Fangedämme nicht gedacht werden konnte. Die Hügel neben der Küste bestanden aber aus einer festen und zähen Klaierde, und es wurden in der Richtung der künftigen Canaldeiche Eisenbahnen angelegt, um zunächst das Material für die Deiche selbst herbeizuschaffen. Nachdem diese dargestellt waren, führte man grofse Thonmassen an die Stelle, wo die Schleuse erbaut werden sollte, und bildete daraus eine mächtige Schüttung auf dem Watte. Dieselbe erhielt eine solche Ausdehnung, dafs sie zugleich die Fangedämme um die Schleuse bildete, und ihre ganze Höhe betrug 60 Fufs. Dar-

über packte man noch grofse Steine, die später beim Schleusenbau benutzt werden sollten und überliefs das Ganze ungefähr 6 Monate lang der Wirkung des Wellenschlages. Während dieser Zeit war die Oberfläche der Thonmasse 11 Fufs gesunken, und da sie endlich keine weitere Bewegung zeigte und man daher annehmen konnte, dafs der weiche Untergrund gehörig comprimirt sei, so fing man an, die Baugrube darin auszuheben. Eine Kettenpumpe, die durch 6 Pferde getrieben wurde, schöpfte das Wasser bis auf die Tiefe von 15 Fufs aus, und bei der ferneren Vertiefung, die man bis 30 Fufs unter Hochwasser trieb, wurden die Pumpen durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt. Man kam hierbei bis 8 Fufs in den comprimirten natürlichen Boden hinein, doch hütete man sich, auf einmal eine grofse Oeffnung darin darzustellen, mauerte vielmehr in einzelnen Theilen von etwa 1½ Ruthen Länge den Schleusenboden in der Mitte 2 und an den Seiten 5 Fufs hoch in Bruchsteinen aus und spannte alsdann im Zusammenhange ein umgekehrtes Gewölbe darüber, welches in den Schleusenmauern sein Widerlager fand. Es verdient bemerkt zu werden, dafs die Rostpfähle, die man nur unter den beiden Häuptern der Schleuse anwendete, sehr schnell und in ununterbrochener Arbeit eingerammt werden mufsten, weil sie nach einer Pause von einer Stunde weder tiefer eingeschlagen, noch auch herausgezogen werden konnten. Ueber das ganze Verfahren sagt Telford: „diese Methode, den „Schlamm zu comprimiren und die ganze Baustelle darin zu ver„senken und später den Klai-Berg zu durchstechen, um die Ein„gänge zur Schleuse zu bilden, war nur ein Nothbehelf, doch ergab „die Vergleichung der Kosten, dafs, wenn auch gewöhnliche Fange„dämme hier anwendbar gewesen wären, die Ausführung derselben „sich doch nicht so wohlfeil als dieses Mittel herausgestellt haben „würde.“ *)

Schliefslich mufs in Bezug auf Fundirungen im aufgeschwemmten Boden noch bemerkt werden, dafs dieselben nur insofern eine sichere Unterstützung finden, als die Erde darunter nach keiner Seite leicht ausweichen kann. Wollte man sie daher in der Nähe

*) *Life of Thomas Telford.* London 1838. S. 58. Eine Beschreibung dieses Baues gab schon früher Flachat in seiner *Histoire des travaux du Canal Calédonien*, Paris 1828, doch stimmen die Angaben darin grofsentheils mit denen von Telford nicht vollständig überein.

eines steilen Abhanges anbringen, woselbst der Boden leicht entweichen könnte, so wäre eine Senkung zu besorgen, die noch dadurch befördert würde, dafs auch die Quellen in eben dieser Richtung sich hinzuziehn pflegen. Die Vorsicht, die man zuweilen in diesem Falle empfiehlt, nämlich dem Fundamente einige Neigung, und zwar dem Abhange entgegengesetzt, zu geben, ist bei aufgeschwemmtem Boden ohne Nutzen, indem dieser Boden selbst in Bewegung geräth, sobald er stark belastet wird. Das sicherste Mittel besteht darin, dafs man das Fundament entweder bis zur Thalsohle herabführt, oder es doch wenigstens so weit senkt, dafs die gerade Linie, welche von demselben nach der nächsten Stelle der Thalsohle gezogen wird, nicht steiler als etwa unter 20 Graden gegen den Horizont geneigt ist. Diese Regel begründet sich dadurch, dafs selbst lose Erdarten keine flachere Böschungen zu bilden pflegen und daher in diesem Falle der nachtheilige Einflufs der Quellen aufhört.

§. 33.
Verbreitung des Fundamentes.

Abgesehn von den schmalen Banketen, durch welche man selbst bei festem Boden die Grundmauern etwas zu verbreiten pflegt, soll hier nur von stärkeren Verbreitungen die Rede sein, welche die Vertheilung des Druckes auf eine bedeutend gröfsere Fläche bezwecken. Jeder Baugrund, wenn er auch noch so lose wäre, widersteht einigem Drucke, und weicht nur, sobald dieser Druck gröfser wird, als seine Tragfähigkeit ist. Vertheilt man daher den Druck auf eine recht grofse Fläche, so wird er vergleichungsweise um so geringer, und um so sicherer kann der Grund die Last tragen. Gemeinhin wird hierbei noch eine andere Absicht verfolgt. Ein weicher und nachgiebiger Boden ist nämlich häufig nicht überall von gleicher Beschaffenheit, und kann an einzelnen Stellen ein gröfseres Gewicht tragen, als an andern. Wollte man unmittelbar ein Gebäude darauf stellen, dessen Theile unter sich nicht innig verbunden sind, so würde leicht eine Ecke oder ein andrer Theil tiefer versinken, als die übrigen, wodurch das

Gebäude augenscheinlich mehr leidet, als wenn es sich im Zusammenhange und möglichst gleichmäſsig gesetzt hätte. Hiernach ist es Bedingung, daſs die tragende Fläche unter dem ganzen Gebäude zusammenhängt und so innig verbunden ist, daſs nirgend eine Trennung erfolgen kann. Dieses allein genügt aber noch keineswegs, denn ein Biegen dieser Fläche darf gleichfalls nicht stattfinden, wenn jeder Bruch im Gebäude verhindert werden soll.

Die gewöhnlichen liegenden Roste sind keineswegs so steif, daſs sie jeder Biegung widerstehn, und eben so wenig findet dieses bei denjenigen Constructionen statt, die man statt derselben zuweilen anwendet. Das Mauerwerk an sich hat dagegen, wenn es in gehörigem Verbande und aus gutem Material ausgeführt worden, einen starken innern Zusammenhang, wodurch ein mögliches Biegen des Fundamentes oder des Rostes meist verhindert wird. Man darf sonach in der erwähnten Beziehung von dem liegenden Roste sich nicht zu viel versprechen. Abgesehn von der gröſsern Ausdehnung der tragenden Fläche gewährt der liegende Rost auch beim Beginne des Baues den Nutzen, daſs die Steine nicht sogleich und vielleicht bis zu verschiedenen Tiefen sich eindrücken. Diesem Effecte wirkt er vollständig entgegen, und so lange er noch nicht stark belastet ist, zeigt er auch eine hinreichende Steifigkeit. Endlich erwartet man zuweilen von einer solchen Unterlage unter dem Fundamente auch noch, daſs sie nicht nur steif ist, und daher das Brechen des Gebäudes verhindert, sondern daſs sie auch ein ganz gleichmäſsiges Setzen bewirken, und verhüten soll, daſs nicht etwa eine Seite tiefer herabsinkt, als die andere, und sonach der Bau eine schiefe Stellung einnimmt. Es darf kaum erwähnt werden, daſs dieser Erfolg nur von der Beschaffenheit des Untergrundes abhängt, und daſs der liegende Rost dazu nichts beitragen kann.

Beim Abbruche alter Gebäude findet man zuweilen Fundirungsarten gewählt, die einem liegenden Roste nahe kommen. Als man die Altstädtsche Kirche in Königsberg abtragen muſste, die auf einem sehr unsichern Grunde im sumpfigen Thale des Pregels vor mehr als fünf Jahrhunderten gebaut war, fand man unter den hohen Umfassungsmauern und Pfeilern eine Reihe von Aesten und Stämmen von Ellernholz neben einander flach auf den Boden gelegt. Dieselben hatten sich so gut erhalten, daſs sie groſsentheils noch fest waren und man die Holzart wieder erkannte. Besonders

interessant war es, dafs man unter ihnen auch noch den Rasen deutlich wahrnehmen konnte, woraus sich also ergab, dafs man gar keine Fundamentgräben für dieses grofse und hohe Gebäude eingeschnitten, sondern sich begnügt hatte, nur den natürlichen Rasen mit Holzstücken zu bedecken und darauf die Mauern aufzuführen.

Ein ähnliches Verfahren ist auch gegenwärtig noch in den Marschen Ost-Frieslands üblich. Die Festigkeit, welche der Rasen besitzt, wird zum Tragen der leichten Gebäude mitbenutzt. Man legt auf denselben eine Holzdecke, welche einen liegenden Rost darstellt, und auf dieser werden die Grundmauern ausgeführt. Ein starkes Sacken pflegt in dem wenig consistenten Untergrunde nicht auszubleiben, woher der Bau bis zur beabsichtigten Tiefe herabsinkt, die Vertiefung, die sich um ihn bildet, wird durch Erdschüttungen später ausgeglichen.

Eine der merkwürdigsten Anwendungen des liegenden Rostes ist bei Erbauung der Seilspinnerei zu Rochefort durch Blondel gemacht. Der thonige Boden zeigte an der Oberfläche eine genügende Festigkeit, doch nahm diese in einiger Tiefe bedeutend ab, und bei 12 Fufs ging er bereits in einen dicken Schlamm über. Letzterer setzte sich so weit fort, dafs man die festen Schichten darunter gar nicht auffinden konnte und daher an einen Pfahlrost nicht zu denken war. Das Gebäude mufste also allein durch die oberen Erdlagen getragen werden, und es kam darauf an, diese möglichst wenig durch Einschneiden zu schwächen. Deshalb wurde in geringer Tiefe der Rost gelegt und der Bau darüber ausgeführt, der sich auch wirklich gleichmäfsig setzte.

Es fehlt nicht an Beispielen, welche zeigen, dafs Gebäude, die auf dem liegenden Roste fundirt wurden, einer starken Senkung ungeachtet, doch weder Risse bekamen, noch auch eine schiefe Stellung annahmen. Es läfst sich hieraus indessen keineswegs der Schlufs ziehn, dafs dieser günstige Erfolg wirklich durch diese Fundirungsart veranlafst wurde, vielmehr mufste der Boden daselbst schon an sich eine so gleichmäfsige Beschaffenheit haben, dafs er überall ungefähr in gleicher Art nachgab. Ein wichtiger Vortheil des liegenden Rostes beruht noch darauf, dafs man mittelst der Schwellen desselben die Fundamente unter den einzelnen Mauern mit einander verankern kann, was besonders unter den Wider-

lagern von Gewölben sehr vortheilhaft ist, sobald der Boden nur geringe Festigkeit hat.

Bei der Ausführung eines Rostes mufs man zunächst dafür sorgen, ihn in solche Höhe zu legen, dafs er beständig vom Wasser bedeckt bleibt. Wäre dieses nicht der Fall, so würde er bald faulen oder verrotten und man könnte alsdann nicht nur gar keinen Vortheil von ihm erwarten, sondern er würde unter der darauf ruhenden Last auch noch zerdrückt werden und dadurch eine neue Veranlassung zur Senkung des Gebäudes geben. Im Thonboden, wo die Feuchtigkeit länger zurückgehalten wird, ist dieser Uebelstand zwar etwas weniger zu besorgen, als im Sande, der viel schneller austrocknet, nichts desto weniger mufs man aber auch dort bis unter den kleinsten Wasserstand herabgehn und dabei auch noch darauf Rücksicht nehmen, dafs dieser Wasserstand vielleicht durch besondere Umstände, wie etwa durch Strom-Correctionen, tiefer gesenkt werden kann.

Fig. 137 *a*, *b* und *c* zeigt einen liegenden Rost im Querschnitte und in den Ansichten von oben und von vorn. Den wichtigsten Theil desselben bilden die Langschwellen, welche das Fundament der Länge nach zusammenhalten. Zu diesem Zwecke müssen sie in den Stöfsen gehörig verkämmt, auch wohl durch eiserne Klammern verbunden sein, damit sie sich nicht auseinanderziehn, und ebenso ist es auch nöthig, dafs diese Stöfse gehörig im Verbande liegen und immer auf die Unterlager treffen. Die Langschwellen haben eine Stärke von 8 bis 12 Zoll und man legt sie in solcher Entfernung von einander, dafs die Bohlen darüber noch mit Sicherheit die Mauer tragen. Die Bohlen sind 3 bis 6 Zoll stark, und werden mit hölzernen Nägeln befestigt, auch giebt man ihnen zuweilen durch Einhauen mit der Axt eine rauhe Oberfläche, damit das Mauerwerk besser darauf haftet. Die eigentliche Verbindung unter sich erhalten die Langschwellen durch die Unterlager, die zugleich wirkliche Zangen sind. Sie werden nach der Schnur und Setzwage in Abständen von 4 bis 6 Fufs auf die Sohle der Baugrube verlegt, und unter den Schwellen sind sie 2 bis 3 Zoll tief eingeschnitten, während die Schwellen selbst in voller Stärke darüber fortgehn. Hierbei darf indessen keineswegs die ganze Last des darauf gestellten Baues auf den Unterlagern und Rostschwellen ruhen, denn beide würden sich in diesem Falle in den losen Unter-

grund eindrücken und das Senken des Fundamentes wäre alsdann sogar stärker, als ohne den liegenden Rost. Es ist sonach nothwendig, die Rostfelder und ebenso auch den Raum zur Seite bis zur obern Fläche der Schwellen sorgfältig anzufüllen und festzustampfen. Man kann hierzu verschiedenes Material benutzen. Wenn man Thon oder Lehm anwendet, so ist ein Zusatz von Kies oder kleinen Steinen dabei insofern vortheilhaft, als dadurch der Thon weniger comprimirbar wird. Hat man dagegen nur Sand, so pflegt man denselben von oben stark anzugiefsen, wodurch die Körnchen eine geschlossene Lage annehmen, doch mufs in dieser Zeit der Wasserstand mittelst der Schöpfmaschine einige Fufs tiefer gehalten werden. Etwas Aehnliches gilt auch vom Bauschutte, der gleichfalls durch starkes Angiefsen sich fest lagert, der aber wegen der häufig darin befindlichen ungebrannten Thonerde durch Anstampfen noch um so fester wird. Jedenfalls mufs man dafür sorgen, dafs diese Füllung bis zur untern Fläche des Bohlenbelages heraufreicht, damit hier eine vollständige Unterstützung stattfindet. Wenn auch ein Herabsinken der obern Erdschichten nicht verhindert werden kann, so darf doch keineswegs der Rost sich in diese eindrücken.

Zuweilen umgiebt man den liegenden Rost noch mit einer Spundwand und dieses hauptsächlich in der Absicht, um das Auswaschen des Grundes und das Unterspülen des Fundamentes zu verhindern. Ein solcher Zweck läfst sich indessen hierdurch nicht mit Sicherheit erreichen, denn man darf nicht voraussetzen, dafs die Spundwand wasserdicht sei. Dazu kommt noch, dafs, wenn überhaupt ein Auswaschen oder Auflockern des Grundes zu besorgen ist, dieses durch die Spundwand nur unter dem Fundamente, aber keineswegs in dessen nächster Umgebung verhindert werden kann. Letzteres ist aber eben so nachtheilig, wie jenes, denn sobald der Grund sich hier erweicht, so wird die Spundwand von dem auf der innern Seite stattfindenden Drucke herausgedrängt und der Rost senkt sich. Es mufs sonach für den liegenden Rost ebenso, wie für jede andere Fundirung, als Regel gelten, dafs überhaupt keine Quellen sich darunter hindurchziehn, und wenn die tiefer liegenden Wasseradern, von denen früher die Rede war, die man weder leicht entdecken, noch abschliefsen kann, hiervon auch eine Ausnahme machen, so dürfen wenigstens keine Quellen so nahe unter dem Fundamente vorkommen, dafs ein Ausspülen zu

besorgen ist. Man vermeidet dieses, indem man das Fundament so tief senkt, dafs der Weg, den die Wasseradern nehmen müssen, wenn sie unter demselben noch durchdringen, so lang und deshalb mit so vielen Widerständen verbunden ist, dafs eine starke Strömung darin nicht mehr eintreten kann. Die möglichst tiefe Lage des Rostes ist besonders geboten, wenn später und dauernd verschiedene Wasserstände an der einen und der andern Seite des Bauwerkes sich bilden, wie dieses etwa bei Wehren der Fall ist. Doch ist dabei stets darauf zu achten, dafs nicht etwa durch anhaltendes und starkes Pumpen der Untergrund gelockert und dadurch seine Tragfähigkeit vermindert wird. Wo dieses zu besorgen, darf der liegende Rost nicht angewendet werden.

Die Spundwand um den liegenden Rost gewährt noch einen andren wichtigen Vortheil. Zunächst schwächt sie schon während des Baues den starken Wasserzudrang, indem sie manche Adern, die sich sehr nachtheilig zeigen würden, theils unmittelbar und theils durch die Compression der Erde sperrt, und überdies hinter ihr ein Thonschlag zu gleichem Zwecke angebracht werden kann.

Die Verbindung des liegenden Rostes mit der Spundwand geschieht in der Art, dafs man die äufsere Langschwelle beim Einrammen der Spundpfähle schon als Lehre benutzt. Man erreicht dadurch den Vortheil, dafs zwischen der Spundwand und dem Bohlenbelage die Erde unter dem Roste sicherer umschlossen wird, wie Fig. 138 zeigt. Eine vollständige Verbindung darf aber zwischen der Spundwand und dem liegenden Roste nicht stattfinden, weil ersterer seiner Natur nach einer gewissen Senkung ausgesetzt bleibt und diese unregelmäfsig ausfallen müfste, wenn sie durch die Spundwand zum Theil gehindert würde.

Häufig geschieht es, dafs die Mauer, die auf dem Roste steht, unter einem gewissen Winkel und oft unter einem rechten Winkel sich seitwärts abzweigt, wie dieses bei Flügelmauern vorzukommen pflegt. In solchem Falle läfst sich der Verband zwischen beiden Theilen des Rostes am leichtesten darstellen, wenn die Schwellen des einen Theiles über die des andern fortschiefsen, also die Enden einzelner Schwellen zugleich Unterlager für die andern Schwellen werden. Der Bohlenbelag liegt alsdann nicht durchweg in derselben Höhe, sondern es bildet sich auf den Ecken eine Stufe. Dieser Umstand ist für die Festigkeit nicht nachtheilig, man mufs aber

dafür sorgen, dafs beide Theile des Rostes noch unter dem kleinsten Wasser liegen und dafs die Schwellen mit einander gehörig verbunden werden. Da die Fundirung in der gröfseren Tiefe kostbarer wird, so pflegt man gewöhnlich denjenigen Theil des Rostes am tiefsten zu legen, der die geringste Ausdehnung hat. Wenn ferner die Flügelmauer nicht senkrecht, sondern schräge von der Hauptmauer abgeht, so müssen die Schwellen dennoch parallel zu den Mauern liegen. Sie überschneiden sich also in schräger Richtung und dieser entsprechend werden auch die nächsten Unterlager nicht rechtwinklig, sondern schräge verlegt, bis sie die normale Lage annehmen können. Die Bohlen müssen sämmtlich auf allen Schwellen aufliegen, man darf sie daher nicht als kurze dreieckige Stücke aufbringen, vielmehr erhalten sie nur an einer Seite eine geringere Breite, als an der andern, damit sie nach und nach in die senkrechte Richtung übergehn. Fig. 139 *a* und *b* zeigt diese Anordnung im Grundrisse und im Querschnitte.

Bisher ist nur von derjenigen Construction des liegenden Rostes die Rede gewesen, die bei uns üblich ist, in England weicht man in mancher Beziehung wesentlich davon ab. Beim Bau der Brücke zu Gloucester über den Severn, wo der Bogen von 150 Fufs Spannung sehr feste Widerlager erforderte, fundirte Telford dieselben 18 Fufs unter dem niedrigen Wasser auf einem groben Kieslager und zwar in einer Ausdehnung von 40 Fufs Länge und 37 Fufs Breite. Er liefs zuerst auf dem geebneten Grunde eine Schicht flacher und lagerhafter Steine ausbreiten und hierüber legte er den Rost. Derselbe bestand in der einen Richtung, wie in der andern, aus Balken von Kiefernholz, die weniger hoch als breit waren und 3 Fufs von Mitte zu Mitte entfernt lagen. Vierzehn Stück derselben von 37 Fufs Länge wurden senkrecht gegen die Richtung des Stromes verlegt, und dreizehn andere, 40 Fufs lang, kamen quer darüber. Beide wurden bis zur Hälfte überschnitten, so dafs sie oben wie unten bündig waren. Die viereckigen Felder, die etwas über 2 Fufs im Quadrat hielten, wurden mit Bruchsteinen sorgfältig ausgemauert und dann kam ein vierzölliger Bohlenbelag von Buchenholz darüber, der auf den Rost genagelt wurde.

Beim Bau einer Schleuse auf dem North-Walsham- und Durham-Canale in Norfolk wählte Hughes die folgende Construction: der Boden bestand daselbst aus Moorerde, worin sich Sandadern

und einzelne Kieslager vorfanden, die in allen Richtungen das Wasser zudringen ließen und den Grund so erweicht hatten, daß man ohne große Mühe ein eiserne Stange 28 Fuß tief einstoßen konnte. In dieser Tiefe befand sich ein festerer Untergrund, doch scheute die Actiengesellschaft die Kosten, um das Fundament so weit herabzuführen, oder einen Pfahlrost anzuwenden. Es wurde daher wieder der liegende Rost gewählt. Man streckte Balken von Kiefernholz 1 Fuß breit, 6 Zoll stark und 32 Fuß lang im lichten Abstande von 3 Fuß, nach der Quere der Schleuse auf die Sohle der Baugrube. Hierüber nagelte man unmittelbar den dreizölligen Bohlenbelag und rammte Spundwände vor und hinter den Rost. Die Spundpfähle drangen nie tiefer, als 15 Fuß, und oft nur 9 bis 10 Fuß ein, und wenn die Arbeit auch nur sehr kurze Zeit (Hughes sagt wenige Secunden) unterbrochen war, so ließen sie sich nicht mehr bewegen und konnten alsdann weder unter den Schlägen der Ramme tiefer herabgebracht, noch auch herausgezogen werden.

Eine eigenthümliche Construction des liegenden Rostes, die Telford bei der Tewkesbury-Brücke über den Severn anwandte, verdient noch erwähnt zu werden. Das eine Ufer bestand aus festerem Boden, so daß ein Pfahlrost, der auf der andern Seite gewählt werden mußte, hier nicht nöthig schien. Es wurde eine Lage Halbholz von 6 Zoll Stärke dicht schließend auf der geebneten Baugrube verlegt und zwar so, daß die einzelnen Stücke die Achse der Brücke unter einem Winkel von 45 Graden schnitten. Hierüber kam eine ganz gleiche Lage, welche die erstere unter einem rechten Winkel kreuzte. Beide wurden durch eiserne Nägel mit einander verbunden und eine Spundwand umgab sie auf der dem Flusse zugekehrten Seite.

Auch bei andern größeren Bauten in England hat man den liegenden Rost angewendet, man ist indessen in neuerer Zeit hiervon meist abgegangen und giebt einer Fundirung auf Béton unbedingt den Vorzug. Es leidet keinen Zweifel, daß die letzte Methode größere Bequemlichkeit und Sicherheit gewährt, insofern die Trockenlegung der Baugrube dabei ganz umgangen wird, oder doch nicht früher erfolgen darf, als bis die Quellen darunter vollständig geschlossen sind, also eine Auflockerung des Untergrundes nicht mehr zu besorgen ist. Dazu kommt noch, daß der Béton schon

wirkliches Mauerwerk ist, sich also mit dem darüber ausgeführten innig verbinden läfst, auch nicht leidet, falls vielleicht später das Grundwasser gesenkt werden sollte.

Bei dem liegenden Roste, wie man ihn in Frankreich anwendet, befinden sich gewöhnlich die Rostschwellen unten, und die Zangen liegen darüber, die Zwischenräume zwischen den letztern werden mit Bohlen ausgefüllt und diese fallen entweder mit der Oberfläche der Zangen in eine Ebene, oder bleiben tiefer, jenachdem man die Zangen und Querschwellen mehr oder weniger in einander eingelassen hat. Bei uns pflegt man die Fläche, worauf die Mauer aufgeführt wird, möglichst eben darzustellen und läfst daher auch beim Pfahlroste die Zangen gewöhnlich nicht über den Bohlenbelag vorstehn. Der Grund dafür ist, dafs schon die untern Schichten der Mauer ohne Unterbrechung und in gleicher Höhe ausgeführt werden können. Diese Rücksicht ist indessen nicht wesentlich, wenn man nur dafür sorgt, dafs bei Anwendung geformter Steine die obere Fläche der Zangen mit einer gewissen Anzahl von Schichten genau erreicht wird, die folgende Schicht also darüber fortläuft. Bei der mangelhaften Verbindung, die zwischen dem Bohlenbelage und dem Mauerwerke stattfindet, dürfte es in manchen Fällen vortheilhaft sein, durch die Unebenheiten der Rostfläche einem möglichen Verschieben der darauf stehenden Mauer vorzubeugen.

Demnächst kommen bei den liegenden Rosten in Frankreich noch manche andre Abweichungen vor, wie die Einfassungen in Rahmen, wovon bei Gelegenheit der Pfahlroste die Rede sein wird. Zuweilen läfst man den Rost auch nur aus den Schwellen und dem Bohlenbelage bestehn. Eine eigenthümliche Abänderung beruht noch darin, dafs man sogar den ganzen Bohlenbelag fortläfst. Schon Bélidor *) bemerkt, dafs, wenn man die Rostfelder bis zum Bohlenbelage ausmauert, wie er dieses für nothwendig hält, und wenn man über dem Bohlenbelage die Mauer fortsetzt, dafs alsdann der Bohlenbelag selbst überflüssig und sogar nachtheilig ist. Sganzin meint gleichfalls, dafs der Bohlenbelag nur den Verband des Mauerwerks unterbricht und daher die Festigkeit beeinträchtigt. Die Fortlassung der Bohlen scheint in der That nicht unpassend zu sein, obgleich man dadurch sich der Gefahr aussetzt, dafs von dem

*) *Science des Ingénieurs.* Buch III. Cap. 9.

Mauerwerk einzelne Theile sich lösen und tiefer einsinken. Dieser Uebelstand ist jedoch nur während des Baues zu besorgen und läfst sich durch ein gehöriges Ausmauern der Rostfelder verhindern. Fig. 140 *a* und *b* zeigt im Grundrisse und Querschnitte den Rost eines Durchlasses, der auf diese Art angenordnet ist und wobei einzelne Zangen beide Widerlager mit einander verankern *).

Eine andere Methode zur Verbreitung des Fundamentes, wodurch man gleichfalls das Einsinken einzelner besonders nachgiebiger Stellen verhütet und den Druck, der auf solche trifft, auf die festeren Umgebungen überträgt, besteht in der Anwendung starker Sandschüttungen. Man hat dieses Verfahren in Frankreich vielfach und seit längerer Zeit angewendet, in Surinam sollen aber alle Gebäude auf diese Art fundirt werden und die Erfahrung zeigt, dafs der Zweck des liegenden Rostes (mit Ausschlufs der erwähnten Verankerungen) dadurch vollständig erreicht werden kann. Es ergeben sich hierbei aber noch die beiden wichtigen Vortheile, dafs die Sandschüttung beinahe jedesmal wohlfeiler und leichter darzustellen ist, als der liegende Rost, und dafs die Fundirung keineswegs so tief zu sein braucht, dafs sie immer unter dem niedrigsten Grundwasser bleibt, denn die Festigkeit der Sandablagerung leidet nicht, wenn sie auch abwechselnd nafs und trocken wird. Es kommt nur darauf an, sie vor der unmittelbaren Berührung des strömenden Wassers zu sichern.

Dafs eine Sandschüttung von angemessner Stärke den Druck auf ihre ganze Grundfläche vertheilt und das Einsinken besonders stark belasteter oder nicht hinreichend unterstützter Stellen verhindert, läfst sich leicht nachweisen.

Der Horizontal-Druck des Sandes gegen eine verticale Wand ist dem Quadrate der Höhe der Schüttung proportional, vorausgesetzt, dafs die Oberfläche horizontal abgeglichen ist und dafs die Wand, welche den fraglichen Druck erfährt, bis zu dieser Oberfläche heraufreicht. Aus einfachen Betrachtungen, die später bei Untersuchung der Stabilität der Futtermauern mitgetheilt werden sollen, ergiebt sich dieser Druck gleich

$$\frac{1}{2} a^2 b \gamma A$$

---

*) Entnommen aus dem *Récueil de dessins rélatifs à l'Art de l'Ingénieur. Collection I.*

wenn a die Höhe der Schüttung, b die Breite der Wand, γ das Gewicht der Raumeinheit des Sandes und A eine von der Natur des Sandes abhängige Constante bezeichnet. Nennt man ferner den Reibungs-Coëfficient des Sandes gegen die Wandung n, so ist die Reibung, welche die Sandschüttung gegen einen Cylinder ausübt, gleich

$$\frac{1}{2} n a^2 b \gamma A$$

oder wenn der Radius des Cylinders gleich r ist, also $b = 2 r \pi$, so wird jene Reibung

$$n r \pi \gamma A a^2$$

Diese Reibung läſst sich direct messen, wenn man hohle Cylinder ohne Boden auf Platten stellt, dieselben mit Sand füllt, und an einen Wagebalken befestigt. Das Gewicht, durch welches sie alsdann gehoben werden, nach Abzug ihres eignen Gewichtes, ist diese Reibung. Ich fand auf solche Art für den eisenhaltigen Streusand in Glascylindern

$$n A = 0{,}12$$

während $\gamma = 2{,}82$ Loth war, wobei der Rheinländische Zoll als Maaſseinheit angenommen ist.

Der Druck, den die Schüttung im vorliegenden Falle gegen den Boden des Cylinders ausübt, ist aber gleich dem Gewichte der Schüttung, weniger dieser Reibung, also

$$r \pi \gamma a (r - n A a)$$

Es folgt hieraus, daſs der letzte, in die Parenthese eingeschlossene Factor für eine gewisse Höhe der Schüttung gleich Null und für eine noch gröſsere Höhe sogar negativ wird, das heiſst, die Reibung des Sandcylinders könnte unter gewissen Umständen nicht nur den Druck auf den Boden vollständig aufheben, sondern denselben auch noch mit einer solchen Kraft zurückhalten, daſs ein daran gehängtes Gewicht davon getragen würde. Diese Schluſsfolge ist indessen nicht richtig, da der Sandcylinder keine zusammenhängende Masse bildet, vielmehr an jeder Stelle sich trennen kann. Die untere Sandschicht kann sonach durch die Reibung, welche die obern Schichten erfahren, nicht zurückgehalten werden, drückt vielmehr fortwährend den Boden. Wenn man in einer cylindrischen Röhre Anfangs eine sehr niedrige Sandschüttung anbringt und diese nach und nach erhöht und dabei jedesmal den Druck miſst, den der Boden erleidet, so ist der Druck Anfangs dem Gewichte des San-

des gleich, nimmt aber später in einem geringeren Maafse zu, als dieses Gewicht, und zwar wird die relative Vergröfserung desselben immer geringer, bis sie zuletzt ganz aufhört. Sobald man diese Grenze erreicht hat, tritt keine Zunahme des Druckes ein, wie hoch man auch die Aufschüttung fortsetzen und welche andere Belastung man auf dem Sande auch noch anbringen mag. Ich benutzte einen Glascylinder, dessen Radius gleich 1,02 Zoll war, und befestigte ihn vertical in der Art, dafs die obere und untere Oeffnung frei blieb, alsdann nahm ich eine ebene Scheibe, welche die untere Oeffnung schlofs, hing sie an einen Wagebalken und brachte sie durch Gegengewichte in der Schale am andern Arme ins Gleichgewicht. Nunmehr schüttete ich Sand in die Röhre, so dafs die Höhe der Schüttung oder a verschiedene Werthe annahm. Eine Sandschüttung in der andern Schale hob jedesmal im Anfange der Beobachtung den Druck auf den Boden der Röhre vollständig auf. Eine feine Oeffnung im Boden der Wageschale liefs indessen diesen Sand, der das Gegengewicht darstellte, langsam ausfliefsen, so dafs eine sehr sanfte Verminderung des Gegendruckes erfolgte, bis endlich der Boden der Röhre nicht mehr gehörig unterstützt war und plötzlich herabfiel. Sobald dieses geschah, wurde der fernere Ausflufs des Sandes aus der Schale gehemmt und das Gewicht des noch zurückgebliebenen Theiles desselben ergab den Gegendruck für die Zeit, wo der Druck auf den Boden das Uebergewicht erhielt. Auf diese Art liefs sich der Druck sehr sicher bestimmen, ohne dafs die Wage berührt und die Gewichte durch Abheben und Zusetzen verändert werden durften. Es war aber auch nöthig, dieses zu vermeiden, indem die geringsten Erschütterungen schon sehr bedeutende Abweichungen hervorbrachten. Die Beobachtungen schlossen sich an die Resultate der Rechnung etwa bis auf 5 Procent an, und es ergab sich, dafs schon bei der Höhe der Schüttung von $a = 4{,}2$ Zoll der Druck den gröfsten Werth annimmt, der 19,38 Loth betrug.

In derselben Art benutzte ich demnächst auch eine engere Glasröhre. Ihr Radius maafs 0,57 Zoll, und um dabei nicht zu kleine Gewichte zu erhalten und zugleich einige Abänderung in die Versuche zu bringen, so füllte ich die Röhre dieses mal mit feinem Schrote an. Für letzteres war

$$\gamma = 8{,}245 \quad \text{und} \quad nA = 0{,}135.$$

Das Maximum des Druckes trat diesesmal bei einer Höhe der Schüttung von 2,13 Zoll ein und betrug 8,85 Loth.

Um von der gegebenen Formel auf den vorliegenden Fall Anwendung zu machen, mufs bemerkt werden, dafs, wenn unter einer ausgedehnten Sandschüttung ein Theil des Bodens schwächer unterstützt ist, als die gleichmäfsige Vertheilung des Druckes bedingt, während die umgebende Grundfläche eine mehr als genügende Widerstandsfähigkeit besitzt, dafs alsdann jene Stelle nicht sogleich einsinkt, sondern ein Theil des darauf treffenden Druckes sich seitwärts durch die Reibung überträgt und der Boden hier wieder nur die Differenz zwischen dem darüber befindlichen ganzen Gewichte und der Reibung tragen darf. Wenn sonach in einem Gefäfse, welches bis zur Höhe a mit Sand gefüllt ist, ein kreisförmiger Theil des Bodens, dessen Radius gleich r ist, ausgeschnitten und durch eine passende Scheibe ersetzt wird, so trifft bei gleichmäfsiger Vertheilung auf letztere ein Druck gleich

$$r^2 \pi \gamma a.$$

Die Scheibe sinkt indessen noch nicht herab, wenn sie auch nur dem Drucke

$$r \pi \gamma a (r - a n A)$$

Widerstand leistet. Dieses gilt aber allein für kleinere Werthe von a, denn das Maximum des Druckes, das bei

$$a = \frac{r}{2 n A}$$

eintritt, bezeichnet auch für höhere Schüttungen das Gewicht, welches auf dem Boden lastet, und sich nicht seitwärts überträgt.

Dasselbe ist $$= \frac{r^3 \pi \gamma}{4 n A}$$

Der Druck, dem die Scheibe Widerstand leisten mufs, um die Schüttung im Gleichgewichte zu erhalten, entspricht dem Gewichte eines senkrechten Paraboloïds dieser Sandschüttung, das sich dem Umfange der Scheibe anschliefst, und dessen Höhe gleich

$$\frac{r}{2 n A}$$

ist. Zu der erzeugenden Parabel gehört aber der Parameter

$$2 r n A.$$

Bei Schüttungen, die nicht den Scheitel des Paraboloïds erreichen,

ist der entsprechende Druck gleich dem Gewichte desjenigen Theiles dieses Paraboloïds, der innerhalb der Schüttung liegt.

Directe Versuche bestätigten wieder die Richtigkeit dieser Schlufsfolgen. In zwei Messingplatten, die nach einander den Boden der Schüttung bilden sollten, schnitt ich kreisförmige Oeffnungen von 0,379 und 0,727 Zoll Halbmesser ein, und schlofs dieselben von unten durch genau passende Scheiben, die in den Mittelpunkten durch Haken unterstützt waren, welche jedesmal an einen Arm einer Wage gehängt wurden. Die Scheiben und Oeffnungen mufsten sehr sorgfältig bearbeitet sein, damit theils kein Klemmen erfolgte, theils aber auch kein Sandkörnchen in die Fuge drang. Auch mufsten die obern Flächen in eine Ebene fallen. In die andre Schale wurde reichlich Sand geschüttet, um sicher das Gegengewicht zu bilden, dieses verminderte sich aber nach und nach, indem der Sand durch eine feine Oeffnung im Boden abflofs.

Die Schüttung, deren Druck ermittelt werden sollte, bestand aus dem eisenhaltigen Streusande, der aber nach sorgfältiger Reinigung etwas schwerer wurde. Der Cubikzoll wog 2,9 Loth. Die Messungen erforderten grofse Vorsicht, und namentlich mufste dafür gesorgt werden, dafs die Ablagerung des Sandes recht gleichmäfsig war. Wenn die Höhe der Schüttung $\frac{1}{4}$ Zoll betrug, so war der Druck gegen die gröfsere Scheibe nahe dem Gewichte eines Cylinders von derselben Höhe gleich. Ungefähr bei 1 Zoll Höhe erreichte der Druck seinen gröfsten Werth, so wie für die kleinere Scheibe bei $a = \frac{1}{2}$ Zoll. Die Reibung war in diesem Falle wesentlich anders, als bei Anwendung der Glasröhre, weil sie hier zwischen Sand und Sand erfolgte. Der Werth von nA variirte zwischen 0,31 und 0,35.

Diese merkwürdige Eigenschaft des trocknen Sandes, dafs sein Druck auf einzelnen Stellen des Bodens, der höhern Schüttung oder fremden Belastung ohnerachtet, ein gewisses Maafs nicht übersteigt, ist auch sonst bemerkt worden. Im Jahre 1829 machte Huber-Burnand die Entdeckung bekannt, dafs die Sandmasse, welche durch eine Oeffnung am Boden eines Gefäfses ausfliefst, von der Druckhöhe ganz unabhängig ist. Diese Erscheinung erklärt sich vollständig durch die obige Herleitung. Später stellte Niel*) Versuche

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1835. *II.* p. 192.

in gröfserem Maafsstabe über den Druck an, welchen Sandmassen auf Oeffnungen im Boden von Gefäfsen ausüben und gelangte dabei zu Resultaten, welche sich ungefähr an die von mir gefundenen anschliefsen, da jedoch die Specialien nicht vollständig mitgetheilt sind, so läfst sich der Vergleich nicht scharf durchführen. Niel erklärt die Verminderung des Druckes, die sich bei gröfseren Höhen der Schüttung zu erkennen giebt, durch die Bildung von Gewölben in dem Sande. Diese Auffassung läfst sich indessen nicht weiter verfolgen, auch ist sie gewifs nicht richtig, denn die Sandkörnchen lagern sich beim Niederfallen nur in der Art, dafs sie senkrecht unterstützt sind, aber keineswegs lehnen sie sich in jeder Richtung, wie die Steine eines Gewölbes gegen einander, wodurch sie den Druck aufheben, der irgend eine freiwerdende Oeffnung im Boden trifft. Wenn die Bildung eines Gewölbes hier überhaupt denkbar wäre, so könnte sie erst eintreten, nachdem beim Ausweichen der darunter befindlichen Sandmasse die betreffenden Theilchen zusammengerückt sind.

Aus dem Angeführten ergiebt sich, dafs eine Sandschüttung, wie Fig. 141 dargestellt ist, den liegenden Rost ersetzt, sie kann zwar keineswegs einer Senkung überhaupt, oder auch nur einer ungleichmäfsigen Senkung vorbeugen, was man vom liegenden Roste gleichfalls nicht erwarten darf, aber sie bildet eine feste Sohle der Baugrube, worauf man die Fundamentmauer aufführen kann, ohne die einzelnen Steine derselben der Gefahr auszusetzen, dafs sie ungleichmäfsig versinken, und wenn überdies der Grund an einzelnen Stellen besonders weich oder die Belastung sehr grofs sein sollte, so wird der Druck sich nach Maafsgabe der Tragfähigkeit des Bodens vertheilen, wodurch ein theilweises Einsinken innerhalb gewisser Grenzen vermieden wird. Die Wohlfeilheit und Dauer der Sandschüttungen sind bereits erwähnt worden. Die Schüttung gewährt noch einen andern Vortheil, dafs sie sich nämlich geschlossen ablagert und alle Unebenheiten genau ausfüllt. Begiefst man sie mit Wasser, welches sich von oben nach unten durch sie hindurchzieht, so wird sie um so compacter und wenn sie nur wenig feucht ist, so kann man sie durch Abrammen noch fester lagern.

Eine wichtige Anwendung dieser Fundirungsart wurde bei

dem Canale St. Martin in Paris gemacht*). Die Kaimauern dieses Canales stellte man, so viel es möglich war, unmittelbar auf den Kalkstein, den man gewöhnlich in einer nicht grofsen Tiefe antraf, doch zuweilen konnte man ihn nicht erreichen und man war alsdann gezwungen, die Mauer auf den aufgeschütteten und grofsentheils sehr ungleichmäfsigen Grund zu stellen. So sah ich (1823) den Fundamentgraben in der Sohle fest anstampfen und darüber eine Sandschüttung von 3 Fufs Höhe aufbringen, worauf alsdann die Mauer unmittelbar aufgeführt wurde**). Im Jahre 1830 stellte man in gleicher Art die Säulen der Vorhalle des Wachtgebäudes zu Bayonne auf Sandschüttungen, und im folgenden Jahre wurde ebendaselbst diese Fundirungsart beim Bau eines Bastions auf aufgeschüttetem, sehr weichem Boden wiederholt. Der letzte Versuch zeigte ein sehr starkes und ungleichmäfsiges Setzen, was indessen davon herrührte, dafs der lose Untergrund nicht überall gleich mächtig war. An der einen Seite berührte die Sandschüttung beinahe den gewachsenen Boden, während sie auf der andern etwa 5 Fufs davon entfernt blieb, und so geschah es, dafs sie dort gar nicht und hier sehr stark sank, was bei einem liegenden Roste auch der Fall gewesen sein würde. In und bei Paris sind seitdem vielfache Anwendungen dieser Fundirungsart gemacht worden, eine der wichtigsten unter denselben kam bei der Erbauung des Hauses eines Canalwärters im sumpfigen Thale der Beuvronne vor, wo der Boden aus Torf bestand. Man brachte hier eine 6 Fufs hohe Sandschüttung auf, welche das Gebäude auch ohne alle Spuren einer ungleichmäfsigen Senkung trug.

In neuerer Zeit haben die Sandschüttungen auch in Deutschland mehrfache Anwendung gefunden. Das Empfangsgebäude der Hamburger Bahn in Berlin, über einem losen Wiesengrunde erbaut, ruht auf einer mächtigen künstlichen Sandschüttung und hat sich in vollkommen gutem Zustande erhalten. Bei Anlage des Bahnhofes in Emden wurden über diese Fundirungsart vielfache Ver-

---

*) *Sur la fondation sur sable. Note par Devilliers. Annales des ponts et chaussées.* 1835. *II. p.* 404.

**) Beschreibung neuerer Wasserbauwerke. S. 169.

suche angestellt, deren Resultate den obigen Mittheilungen entsprachen *).

Zuweilen hat man versucht, den Sand durch Uebergiefsen mit Kalkmilch zu binden, der Erfolg ist indessen wohl immer nur sehr geringe geblieben, so lange man nicht so grofse Kalkmassen zusetzte, dafs sich ein wirklicher Mörtel bilden konnte, wie dieses neben den Kalkgruben für ausgedehnte Bauten und zwar im Sandboden zuweilen der Fall ist. Ein solches Verfahren, absichtlich gewählt, würde schon den Uebergang zu den Fundirungen in Béton bilden.

Man hat von den Sandschüttungen noch eine andere Anwendung gemacht, die freilich nicht mehr dem liegenden, vielmehr dem Pfahlroste entspricht, die jedoch mit dem Vorstehenden so nahe zusammenhängt, dafs davon hier am passendsten die Rede sein wird. Die Bauten im Arsenale zu Bayonne verlangten wegen des losen Untergrundes einen Pfahlrost, und da wegen der hohen Holz-Preise von der Anwendung sehr langer Pfähle abgesehn werden mufste, so machte man den Versuch, diese Pfähle, nachdem sie eingerammt waren, wieder auszuziehn und die Löcher, worin sie gesteckt hatten, mit Sand auszufüllen. Aus Furcht, dafs der Sand zu weit versinken möchte, schlug man aber noch mittelst hoher Aufsetzer Pfahlspitzen hinein, auf welchen der Sand auflag. Auf die in solcher Art gebildeten Sandcylinder stellte man unmittelbar das untere Banket der Mauern, wie Fig. 142 zeigt **). Dasselbe Verfahren hat man auch später benutzt, jedoch mit dem Unterschiede, dafs man das Eintreiben der Pfahlspitzen unterliefs und statt des Sandes förmlichen Béton anwendete, den man fest einstampfte.

Man darf wohl nicht erwarten, dafs diese Sandpfähle oder die aus reinem Sande gebildeten Säulen eine irgend merkliche Tragfähigkeit besitzen sollten. Wenn es auch wirklich glückt, das Loch, das der eingerammte Pfahl gebildet hat, bis zum Einschütten des Sandes offen zu erhalten, so füllt es sich doch mit

---

*) Zeitschrift des Hannoverschen Architecten- und Ingenieur-Vereins. XI. Seite 154.

**) *Annales des ponts et chaussées.* 1835. *II.* *p.* 172.

Wasser an und der hineinfallende Sand lagert sich ganz lose, oder bildet Triebsand. Er ist überdies durch keine feste Wand eingeschlossen, und kann also mit Leichtigkeit nicht nur abwärts, sondern auch zur Seite ausweichen. Ein geringer Erfolg dabei wäre nur denkbar, wenn der Boden schon an sich nahe die erforderliche Tragfähigkeit besäfse, und diese demselben durch die Compression beim Einrammen der Pfähle und durch die geringe Vergröfserung der festen Masse beim Hineinschütten des Sandes hinreichend gegeben werden könnte. In diesem Falle müfsten aber die Pfähle ziemlich nahe neben einander gestellt werden, und hierdurch, so wie durch das Einrammen und Wiederausziehn derselben möchten die Kosten sich so sehr steigern, dafs diese Fundirungs-Art vergleichungsweise gegen andre kaum noch einen Vortheil bieten würde.

Das Verfahren hat, soviel bekannt, in neuerer Zeit keine weitere Anwendung gefunden, und wäre daher hier gar nicht zu erwähnen gewesen, wenn es nicht bei Deichanlagen auf losem Grunde mehrfach, und zwar angeblich mit grofsem Nutzen, gewählt wäre. Solche Sandpfähle sollen nach verschiedenen, in der Provinz Preufsen gemachten Erfahrungen das starke Sacken der Deiche verhindert haben. Ich mufs mich begnügen, diese Ansicht historisch mitzutheilen, da keine sicheren Messungen beurtheilen lassen, welchen Erfolg die Sandcylinder wirklich herbeiführten.

Endlich mufs noch von den Steinschüttungen die Rede sein, die man zuweilen anwendet, um grofse Bauwerke darauf zu stellen, sie finden indessen weniger bei einem losen und nachgiebigen Baugrunde ihre Anwendung, als vielmehr da, wo die Wassertiefe sehr grofs ist und der Wellenschlag jede andere Fundirungsart sehr schwierig macht. Die wichtigsten Beispiele dieser Art sind bei Seehäfen vorgekommen. So wurde der Damm, der die Rhede von Cherbourg sichert, durch eine lose Steinschüttung gebildet, doch zeigten die eben daselbst gemachten Erfahrungen, dafs solche Werke, wenn sie einem starken Wellenschlage ausgesetzt sind, keinen sichern Untergrund bilden. Die in der Mitte dieses Dammes angelegte Batterie wurde nach wenig Jahren bei einem heftigen Sturme vollständig zerstört. In welcher Art man durch

Anwendung von grofsen Blöcken die Steinschüttungen gegen den Wellenschlag sichern kann, ist im dritten Theile dieses Werkes bei Behandlung der Hafendämme mitgetheilt. Es ist aber hier zu erwähnen, dafs man zuweilen auch grofse Bauwerke auf regelmäfsig versenkte Steinblöcke fundirt hat.

Ein Fall dieser Art kam bei Inverness vor. Man wollte daselbst einen Hafendamm (*Pier*), der zum Anlegen der Schiffe bestimmt war, im Ness-Flusse erbauen, und indem die Geldmittel ziemlich beschränkt waren, so schlug Telford die folgende eigenthümliche Construction vor, die auch wirklich gewählt wurde. Das Flufsbette, welches 4 Fufs unter dem niedrigsten Wasser lag, bestand aus einer festen Ablagerung von grobem Kiese und Klai, und der Hafendamm, an dessen innerer Seite die Schiffe, vor dem Wellenschlage gesichert, zur Zeit des Hochwassers anlegen sollten, erhielt die Länge von 160 Fufs und die Breite von 8 Fufs. Der Anfang wurde damit gemacht, dafs man in der Richtung des Dammes das Bette 2 Fufs tief ausbaggerte. Alsdann wurden an jeder Seite in 20 Fufs Abstand von einander schwache Pfähle von 12 Fufs Länge eingerammt, und je zwei gegenüberstehende Pfähle verband man in der Höhe der gewöhnlichen Ebben durch seitwärts angenagelte Bohlen und schnitt die vorstehenden Pfahlköpfe ab. Auf diese Bohlen nagelte man Halbhölzer, welche die Holme für die Pfahlreihen bildeten. An der innern Seite dieser Holme rammte man endlich in weiten Zwischenräumen von 10 bis 12 Zoll Dielen ein, die nur wenige Zolle tief in den Boden eindrangen. Auf solche Art war der ganze Raum, der massiv ausgemauert werden sollte, umschlossen, und nunmehr versenkte man darin die regelmäfsig bearbeiteten Steine, indem man sie möglichst genau schliefsend an einander stellte und durch Abwechselung der Fugen auch für einigen Verband sorgte. Das Versenken geschah mittelst der später zu beschreibenden Vorrichtung, der Wolf genannt, wodurch jeder Stein nur in seiner Oberfläche gefafst und selbst unter Wasser leicht gelöst werden konnte. Nachdem mehrere Schichten grofser Werkstücke so versetzt waren, erreichte man den Wasserstand der Ebbe und der folgende Theil des Baues wurde als gewöhnliches Mauerwerk in Mörtel ausgeführt. Im Jahre 1815 hatte man den Damm erbaut, und das Werk hielt sich so gut, dafs vier und zwanzig Jahre

später noch keine Spur von einer Beschädigung sich darin zu erkennen gab *).

Für den Hafendamm bei Ardrossan wählte Telford eine etwas abweichende Fundirungsart. Die Unebenheiten, welche der Felsboden hier zeigte, wurden durch Schichten von aufrechtgestellten Steinblöcken von 6 bis 10 Fuſs Höhe und 3 Fuſs Breite ausgeglichen. Diese Blöcke versetzte man mit der Teufelsklaue unter Wasser und zwar so, daſs sie sämmtlich sich gegen einander lehnten und deshalb eine schräge Stellung erhielten. Von auſsen umgab sie eine Schüttung groſser Steine.

Daſs man auf weichen und thonigen Untergrund zuweilen eine Lage von Steinen bringt, die gewöhnlich 3 bis 4 Zoll im Durchmesser haben, und dieselben fest einrammt, ist bereits erwähnt worden. Es findet hierbei indessen auch eine Verbreitung der tragenden Fläche statt, wenn das Pflaster an beiden Seiten vor das Fundament tritt, und man legt zuweilen mehrere solcher Steinschichten möglicht geschlossen über einander, rammt sie jedesmal fest an, und füllt die Fugen mit Sand aus, worauf man endlich durch Einschlämmen von Sand noch diejenigen Räume zu dichten sucht, die vielleicht offen geblieben waren **). Es ist kaum zu vermuthen, daſs diese Methode einen Vorzug vor der oben beschriebenen Sandschüttung haben sollte.

§. 34.
Der Pfahlrost.

Der Pfahlrost findet seine eigentliche Anwendung, wenn der feste Boden, der mit Sicherheit das Gebäude tragen kann, zu tief liegt, um das Fundament unmittelbar darauf zu stellen, vielmehr eine lose Erdschicht sich darüber befindet, die keinen sichern Baugrund bildet. Indem die Pfähle die letztere durchdringen und mit ihrem Fuſse auf der festen Schicht aufstehn, oder in dieselbe ein-

---

*) *Theory, practice and architecture of bridges. Sect. VI. p.* 17. Daselbst ist auch der Hafendamm bei Ardrossan beschrieben.

**) Crelle's Journal, Bd. III. S. 484.

greifen, so übertragen sie auf diese den Druck des Gebäudes und geben dadurch dem letzteren eine sichere Unterstützung. Häufig wendet man indessen den Pfahlrost auch da an, wo der Baugrund durchweg von gleichmäfsiger Beschaffenheit ist, oder wo die Spitzen der Pfähle keine festere Schichten erreichen, als diejenigen sind, welche sie bereits durchdrungen haben. In diesem Falle kann nur die Reibung, welche das umgebende Erdreich gegen die Pfähle ausübt, den stärkeren Widerstand erzeugen, und man pflegt aus der Leichtigkeit, womit der Pfahl unter der Ramme eindringt, auf die Gröfse der Last zu schliefsen, welche man darauf stellen kann. Im folgenden wird die Tragfähigkeit der Grundpfähle näher untersucht werden, zunächst aber ist die Anordnung des Pfahlrostes und seine Construction zu beschreiben.

Für den Pfahlrost gilt die Bedingung, welche für den liegenden Rost bereits angeführt ist, dafs er nämlich immer unter dem Grundwasser sich befinden mufs. Man weicht von dieser Regel zuweilen insofern ab, als man annimmt, dafs der Boden umher, wenn er vor dem Zutritte der Luft geschützt ist, nicht so schnell austrocknet, und namentlich erwartet man dieses von einer zähen thonigen Erde. Ein Beispiel hiervon giebt die Victoriabrücke über den Flufs Wear auf der Durham-Verbindungseisenbahn, wo man den Pfahlrost des linken Widerlagspfeilers für den 100 Fufs gespannten Bogen auf dem hohen Ufer etwa 50 Fufs über dem Wasserspiegel angebracht hat. Dergleichen Abweichungen haben indessen häufig sehr unangenehme Verlegenheiten herbeigeführt, und vielfach mufsten Gebäude allein aus diesem Grunde abgetragen werden. Die Vergänglichkeit eines solchen Rostes zeigt sich aber nicht nur in einem leichten Boden und in grofser Höhe über dem Wasser, sondern zuweilen auch an solchen Stellen, wo kein vollständiges Austrocknen des umgebenden Grundes stattfindet. In dem sumpfigen aufgeschwemmten Boden bei Danzig, und zwar in der Tiefe von 8 Fufs unter der Oberfläche des Terrains und nur in geringer Höhe über dem Wasserspiegel der nahegelegenen Mottlau, sah ich das Holz eines Rostes vollständig verzehrt, so dafs man leicht mit einem Stocke hindurchstiefs. Wenn es sich aber trifft, dafs man bei einem alten Gebäude eine solche unpassende Lage des Rostes entdeckt, die seine Zerstörung in Kurzem erwarten läfst, so mufs man Sorge tragen, durch eine dichte Umgebung mit fetter Thon-

erde ihn möglichst sicher zu stellen. Es ereignet sich dieser Fall nicht selten bei den Fundamenten der Brückenpfeiler, und man pflegt in solchem Falle durch Spundwände ringsumher einen Kasten darzustellen, der mit einem Thonschlage gefüllt wird. Es mag hier auch noch an die Erfahrung erinnert werden, die man in Bayonne gemacht hat und die eben zu der oben (§. 33) erwähnten Anwendung des Sandes Veranlassung gab. Die Rostschwellen von Kiefernholz hatten, obgleich sie in der Höhe des mittleren Wasserstandes lagen und einen Fufs stark waren, doch so gelitten, dafs sie beim Aufschlagen in eine Menge Splitter zerbrachen, und kleine fichtene Pfählchen, die wahrscheinlich zur Befestigung des Grundes eingetrieben waren, konnte man mit dem Spaten durchstechen. Nach diesen Erfahrungen, die sich oft genug wiederholen, darf man wohl annehmen, dafs es jedesmal ein sehr gewagter Versuch ist, einen Rost, der über dem niedrigsten Wasserstande liegt, beständig nafs zu erhalten und ihn vor Fäulnifs oder vor Verrottung zu sichern. Bei Neubauten mufs es daher immer als Regel gelten, eine solche Gefahr nicht eintreten zu lassen und den Rost so tief zu legen, dafs er unter allen Umständen stets vom Grundwasser bedeckt bleibt.

Nach manchen Erfahrungen ist es selbst zweifelhaft, ob diese Vorsicht in allen Fällen genügt, um das Holz unversehrt zu erhalten. Als der schadhafte Stirnpfeiler einer kleinen Brücke über den Bach Gélise in den Landes der Provinz Gascogne wieder hergestellt werden sollte, fand man den alten Pfahlrost, obwohl derselbe den niedrigsten Wasserstand des Baches nicht überragte, also dauernd unter Wasser geblieben war, doch so verrottet, dafs sowohl der Rost selbst, wie die Pfähle. die ihn trugen, mit dem Spaten leicht durchstochen werden konnten. Es zeigte sich auch, dafs bei andern Bauwerken in dortiger Gegend dasselbe geschehn war. Die Ursache dieser Erscheinung soll die Zersetzung der organischen Bestandtheile des Bodens sein, wobei ein Ferment sich bildet, das bei der Berührung des Holzes auch dieses, und zwar selbst unter Wasser in Fäulnifs versetzt *). Wird das Holz dagegen von fliefsendem Wasser unmittelbar berührt, so zeigen vielfache Erfahrungen, dafs seine Oberfläche mit der Zeit ange-

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1857. *I. p.* 122 und 369.

griffen wird, und sich vollständig aufzulösen scheint, da die Zapfen und selbst die vortretenden Pfähle nach mehreren Jahrzehenden auffallend geringere Dimensionen annehmen.

Die Holzart, die zu den Pfählen vorzugsweise gewählt wird, ist Kiefernholz, doch ist auch die Anwendung des Eichenholzes, wo dasselbe wohlfeil zu haben ist, nicht ungewöhnlich, sowie man auch Ellern-, und jedes andere feste Holz dabei zuweilen benutzt.

Es ist schon früher (§. 32) darauf aufmerksam gemacht worden, dafs jedes Fundament in derjenigen Richtung den hinreichenden Widerstand leisten mufs, in welcher der Druck wirkt. Diese Regel findet besonders Anwendung auf den Pfahlrost, und namentlich in dem Falle, wenn die Pfähle den festen Grund nur mit der Spitze erreichen und mit dem gröfsten Theile ihrer Länge in losem Boden stehn, oder wenn sie vielleicht sogenannte Langpfähle bilden, welche den Rost weit über dem Boden tragen, wie bei Brücken zuweilen geschieht. Wie wichtig die Vorsicht in dieser Beziehung ist, hat sich besonders an der bereits erwähnten massiven Brücke über die Loire bei Tours gezeigt. 1765 begann der Bau, 1777 stürzte schon ein Pfeiler ein und man schrieb die Schuld der schlechten Beschaffenheit der Grundpfähle zu, die drei Jahre lang nach der Ablieferung auf dem Bauplatze gelegen hatten. Das wichtigste Ereignifs trat aber im Jahre 1789 ein, nämlich beim Eisgange wurden vier Brückenbogen zerstört. De Cessart meint, dafs der Stofs des Eises sie umgeworfen habe, doch bestätigte sich dieses nicht nach den Untersuchungen, die Beaudemoulin darüber anstellte *), denn die Brücke stand noch acht Stunden, nachdem der Eisgang aufgehört hatte, als sie plötzlich etwa auf den dritten Theil ihrer Länge zusammenfiel. Die Ursache davon lag aber in den Rostpfählen, die nicht gehörig unterstützt waren. Der feste Felsgrund (ein Tufstein) erreichte gerade an dieser Stelle seine gröfste Höhe, und um das Einrammen der Pfähle zu erleichtern, hatte man die Baggerung so weit getrieben, dafs die Pfähle nur 4 Fufs im aufgeschwemmten Boden standen, der ihnen allein einige Haltung geben konnte, da ihre Spitzen nur den Felsen berührten. Gegen seitliches Ueberweichen waren sie um so weniger geschützt,

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1839. *II.* *p.* 86 ff.

als möglicher Weise die lose Erde vielleicht beim Eisgange noch stärker ausgewaschen war, als man später bemerken konnte.

Auch bei gleichmäfsigem Grunde, der in seinen obern Schichten nicht besonders lose ist, bleibt der Widerstand, welchen die Pfähle einem Seitwärtsschieben und einem Verbiegen entgegensetzen, ziemlich unbedeutend, und es kommt daher darauf an, einem solchen Erfolge durch andere Mittel vorzubeugen. Hierher gehört zunächst die möglichst innige und solide Verbindung des ganzen Rostes, und wenn es geschehn kann, auch die gegenseitige Verbindung der verschiedenen Roste, die unter den einzelnen Theilen des Gebäudes liegen. So ist es z. B. sehr vortheilhaft, die Roste unter den beiden Widerlagern eines Bogens mit einander zu verankern. Es können indessen auch in anderer Art Trennungen erfolgen. Hierher gehört die bereits oben (§. 31) erwähnte Erscheinung, dafs unter der Last einer hohen Dammschüttung die zwischen den Rostpfählen befindliche Erde an der allgemeinen Bewegung Theil nimmt, und die Pfähle nach der einen und der andern Seite drängt.

Nicht selten ist die auf dem Pfahlroste stehende Mauer einem starken Seitendrucke ausgesetzt. Dieses geschieht namentlich, wenn sie das Widerlager eines weit gespannten Bogens bildet, oder wenn gegen sie als Futtermauer eine hohe Erdschüttung sich lehnt. In solchem Falle setzt der Seitendruck sich auch auf den Rost und die Pfähle fort, und letztere würden, besonders wenn sie auf grofse Länge entweder ganz frei, oder in lockerem Boden stehn, diesem Drucke nicht Widerstand leisten, vielmehr sich seitwärts neigen. Um dieses zu verhindern, hat man verschiedene Mittel angewendet. Am passendsten ist es gewifs unter diesen Umständen, die sämmtlichen Rostpfähle nicht vertical, sondern schräge, und zwar in der Richtung desjenigen Druckes zu stellen, der sich aus dem verticalen und horizontalen zusammensetzt. Der Druck trifft sie alsdann in ihrer Achse, und es ist keine weitere Kraft vorhanden, die sie seitwärts drängt. Das Einrammen der Pfähle in schräger Richtung, die sich etwa 20 bis 30 Grade von der des Lothes entfernt, verursacht aber wenig Schwierigkeit, wenn die Läuferruthe der Ramme beliebig geneigt werden kann.

Man hat in England dieses Verfahren häufig angewendet. So wurden die Rostpfähle unter den Stirnpfeilern der Southwark- und der neuen London-Brücke schräge eingerammt, und man findet

mehrfache Beispiele dafür unter den neuesten englischen Brückenbauten. Für die Roste der Kaimauern, welche durch den Druck der Erde eine horizontale Pressung erleiden, ist die schräge Stellung der Pfähle sogar ganz gewöhnlich geworden. Fig. 143 zeigt die Fundirung des einen Widerlagspfeilers der neuen London-Brücke *) und es mufs dabei bemerkt werden, dafs die an der innern Seite vorgerammte Spundwand gegen den Lehrbogen verstrebt wird, weil sonst die Gefahr eintreten möchte, dafs gleich beim Bau die ersten Schichten des Pfeilers herabgleiten, indem die horizontale Pressung, welche sie dagegen sichert, erst eintritt, sobald der ganze Bogen geschlossen und ausgerüstet ist. Die Spannungen der Bogen dieser Brücke betragen 130 bis 152 Fufs. Fig. 144 stellt dagegen das Profil der Kaimauer dar, welche das Verbindungsdock in Hull umgiebt **).

Vielfach giebt man nicht allen Pfählen, sondern nur der vorderen Reihe derselben, oder auch wohl nur einzelnen Pfählen eine schräge Stellung. Diese müfsten, wenn der Horizontaldruck das Gleichgewicht stören sollte, sich aufrichten, also in ihren Köpfen eine höhere Lage annehmen und sonach die darauf ruhende Last heben. Um dieses zu vermeiden, mufs man dafür sorgen, dafs die Mauer sie hinreichend beschwert. Figur 213 auf Tafel XVI zeigt das Profil der Hafenmauer in Geestemünde, die auf einem Pfahlroste steht, in welchem zwischen den durch kurze Schwellen verbundenen Querreihen schräge Pfähle eingerammt sind, welche abwechselnd die vordere und die hintere Langschwelle mit Klauen umfassen. Indem sie vor die vordere Pfahlreihe weit vortreten, so konnte die Spundwand nicht vor den Rost, sondern mufste hinter denselben gestellt werden, und dieses war hier ohne Nachtheil, da die Erdböschung sich hinreichend erhebt, um das Ausspülen der Erde zwischen den Pfählen zu verhindern. Zur Erklärung der Figur mag noch hinzugefügt werden, dafs man, um die Kosten zu vermindern, in der Mauer Oeffnungen von 9 Fufs Länge, 5 Fufs Breite und 8 Fufs Höhe frei gelassen hat, die rückwärts durch eine 1 Stein starke horizontal gespannte Kappe geschlossen und

---

*) *A practical treatise on bridge-building by Cresy.* London 1839.

**) *Transactions of the Institution of Civil Engineers. Vol. I. p.* 34.

mit sehr verlängertem Mörtel gefüllt sind. Zwischen je zweien Oeffnungen ist die Mauer in 5 Fuſs Breite voll hindurchgeführt.

Ein anderes Verfahren, wodurch man das Ueberweichen der Rostpfähle verhindert, bezieht sich auf eine gegenseitige Absteifung derselben unter einander. Durch hölzerne Verbandstücke läſst sich dieser Zweck nicht erreichen, weil man alsdann die Baugrube bis zu groſser Tiefe trocken legen müſste, der zwischen die Pfähle versenkte Béton wirkt indessen nach seinem Erhärten in gleicher Weise und stellt sogar die Absteifung in jeder Richtung, also sehr vollständig dar. Diese Constructions-Art gewährt noch andre wichtige Vortheile. Die Spundwand kann und muſs sogar vor den Rost gestellt werden, und die Bétonschüttung, welche den natürlichen Boden, wie tief derselbe auch unter Wasser liegen mag, vollständig überdeckt und daher gegen Ausspülung sichert, darf auch ohne Nachtheil bis zum niedrigsten Wasserstande und selbst über diesen hinauf geführt werden. Sie findet sichere Unterstützung theils auf dem Untergrunde und theils auf den Pfählen, und zwar auf den letztern ebensowohl in den Köpfen, wie in Folge des genauen Anschlusses auch an ihren Seitenflächen. So bietet dieses Mittel Gelegenheit, die Trockenlegung der Baugrube ganz zu umgehn. Nachdem die Rammarbeiten beendigt sind, schneidet man die Pfähle einige Fuſs tief unter dem niedrigsten Wasser ab und führt die Bétonschüttung, die sowohl unter wie über Wasser ein festes Mauerwerk bildet, so hoch hinauf, bis die eigentliche Maurer-Arbeit beginnen kann. In dieser Weise ist die Kaimauer an der Oder neben dem Bahnhofe in Stettin ausgeführt und hat sich nunmehr bereits 30 Jahre hindurch unversehrt erhalten. Im Pillauer Hafen ist in neuster Zeit dieselbe Fundirungsart der Hafenmauern zur Ausführung gekommen.

Verankerungen der Pfahlroste durch Erd-Anker, die rückwärts in den Boden greifen, sind nicht üblich, wiewohl sie bequem auszuführen wären, auch ihrer Anwendung kein wesentliches Bedenken entgegenstände. Andrerseits werden aber nicht selten die beiderseitigen Roste unter den Widerlags-Pfeilern der Brücken mit einander verankert, wie Figur 150 auf Tafel XII zeigt.

Was die Anordnung der Pfahlroste betrifft, so werden die Pfähle reihenweise eingerammt, und auf die Köpfe derselben legt man gewöhnlich zunächst die Rostschwellen, welche durch

Zangen mit einander verbunden werden. Figur 145 auf Tafel XI zeigt einen solchen Rost. Die Entfernung der Pfahlreihen von einander, und zwar von Mitte zu Mitte, beträgt nach Maafsgabe des Gewichtes der darauf ruhenden Mauern 2½ bis 4 Fufs. Die Entfernung der einzelnen Pfähle in jeder Reihe ist aber gewöhnlich etwas gröfser. Die Pfähle werden mit Zapfen versehn, und um diese genau in gleicher Höhe anzubringen, läfst man das Wasser in der Baugrube so hoch steigen, als die obere Fläche der Zapfen liegen soll. Die Höhe wird an allen Pfählen bezeichnet, und nachdem das Wasser wieder ausgepumpt ist, schneidet man die vorstehenden Enden der Pfähle ab und schnürt darauf die Zapfen von 2 bis 3 Zoll Breite und 6 Zoll Länge ab, die alsdann in einer Höhe von 3 bis 4 Zoll ausgeschnitten werden. Diejenigen Pfähle, auf welche die Stöfse der Schwellen treffen, erhalten Zapfen von der ganzen Breite der Pfähle, um jedesmal beide Enden der Schwellen sicher zu fassen. Zu den Schwellen wählt man recht lange Hölzer, um die Anzahl der Stöfse möglichst zu vermindern. Sie liegen gemeinhin nach der Länge des Baues, woher man sie auch Langschwellen nennt. Man versieht sie nur mit Zapfenlöchern für die Zapfen der Pfähle, ohne sie darauf weiter zu befestigen, weil ein Abheben undenkbar ist. Im Stofse kann nicht füglich ein Hakenkamm, wie bei dem liegenden Roste, angebracht werden, weil der Zapfen sich hier befindet, und sonach diejenige Stelle in der Schwelle, wo gerade die meiste Tragfähigkeit erforderlich ist, nicht gehörig sicher wäre. Bei dem liegenden Roste kommen solche besonders stark belastete Stellen nicht vor, indem derselbe in seiner ganzen untern Fläche und selbst gegen den Bohlenbelag unterstützt wird, während beim Pfahlroste die Pfahlköpfe allein die tragenden Flächen bilden und die Schwellen den ganzen Druck der Mauer auf diese übertragen. Aus diesem Grunde werden die Schwellen in den Stöfsen nur stumpf abgeschnitten, und erhalten die nöthige Verbindung durch eiserne Klammern. oder noch besser durch eiserne Schienen, die seitwärts aufgenagelt werden, doch müssen diese Schienen wenigstens ¼ oder ½ Zoll stark sein, auch mit Nägeln von 8 bis 9 Zoll Länge befestigt werden. Man schlägt die Nägel so ein, dafs man sie beim Einstellen mit der Spitze an den äufsern Rand des Nagelloches drückt, wodurch sie beim ferneren Eindringen wegen ihrer zunehmenden Stärke die Schiene nach der

Seite, oder die Schwelle nach dem Stofse hin pressen. Dafs die Stöfse in den Schwellen wieder gehörig abwechseln müssen, darf kaum erwähnt werden.

Die sämmtlichen nebeneinander liegenden Schwellen erhalten demnächst ihre Verbindung unter einander durch eine zweite Lage von Verbandstücken, welche sie rechtwinklig kreuzen. Dieses sind die Zangen oder Querschwellen. Ein Verschieben der letztern nach der Länge der Rostschwellen ist gewöhnlich ganz undenkbar und wird überdies durch die zwischenliegenden und aufgenagelten Bohlen verhindert. Die Schwelle braucht also nicht eingeschnitten zu werden und die Ueberschneidung wird allein in der Zange angebracht, wodurch die Rostschwellen im gehörigen Abstande von einander gehalten werden. Eine möglichst sorgfältige Ausfüllung und bei wichtigen Bauten eine Ausmaurung des Raumes in den Rostfeldern ist auch hier nothwendig. Gewöhnlich hebt man, nachdem die Pfähle eingerammt sind, den Grund 1 bis 2 Fufs unter dem Roste aus, wodurch das Anschneiden der Zapfen erleichtert wird, und bringt einen Lehmschlag darüber, auf welchem die Ausmaurung ruht, die zwischen den Schwellen bis zu deren oberer Fläche hinaufreicht. In Figur 145 *d* ist eine solche Anordnung dargestellt, wobei der Rost wieder eine ebene Fläche bildet, indem die Zangen so weit eingeschnitten sind, dafs sie nur die Stärke der Bohlen behalten und mit diesen bündig liegen. Es rechtfertigt sich eine solche Anordnung insofern, als bei einer gleichmäfsigen Vertheilung des Druckes die Zangen keine gröfsere Last zu tragen haben, als die Bohlen, die Bohlen selbst müssen jedoch in diesem Falle auch so stark gewählt werden, dafs sie mit Sicherheit den Druck tragen können und nicht etwa zwischen den Balken brechen. Endlich ist zu erwähnen, dafs die Bohlen auch hier fest genagelt werden. Die ganze beschriebene Anordnung ergiebt sich aus Fig. 145. *a* ist nämlich der Grundrifs des Rostes in den verschiedenen Bauperioden, und da, wo die Schwellen noch nicht mit den Zangen versehn sind, liegt eine solche umgekehrt darüber. Fig. 145 *b* ist die Ansicht von der Seite und *c* und *d* sind zwei Querschnitte, von denen der erste durch eine Zange und der letzte durch eine Bohle gelegt ist.

Wenn gleich die beschriebene Construction bei uns die übliche ist, so kommen doch manche Modificationen vor, die in Fig. 146

dargestellt sind. Zunächst bemerkt man hier, dafs die Pfähle in den einzelnen Reihen sich nicht gegenüber stehn, sondern versetzt sind. Dieses begründet sich dadurch, dafs die Pfähle bei gleicher Entfernung von einander eine gleichmäfsigere Compression des Bodens bewirken. Durch die zuerst eingerammten Pfähle wird nämlich schon der Boden ringsumher verdichtet und das Eindringen der folgenden erschwert, und zwar geschieht dieses um so mehr, je näher die Pfähle neben einander stehn. Der Widerstand, den die letzten Pfähle dem Eindringen entgegensetzen, bezeichnet aber keineswegs ihre Tragfähigkeit, denn nach und nach gleicht sich die im Boden hervorgebrachte Spannung einigermaafsen wieder aus, und alsdann behält derjenige Pfahl eine geringere Tragfähigkeit, der nahe an einem andern eingerammt wurde. Dafs die versetzten Pfähle nicht immer unter die Zangen treffen, ist klar, doch bleibt dieser Umstand in Bezug auf die Festigkeit des Rostes ziemlich gleichgültig. Ferner ist in der letzten Figur auch noch eine andere Verbindung der Zangen gegen die Schwellen, nämlich mit einer geringeren Verkämmung, dargestellt. Der Bohlenbelag liegt hier tiefer, als die Oberfläche der Zangen, was keineswegs als nachtheilig angesehn werden darf. Diese Construction könnte noch einigen Vortheil in Bezug auf die Festigkeit gewähren, indem solche Zangen nicht so leicht einbiegen.

Endlich mufs bemerkt werden, dafs man bei einer Veränderung in der Richtung des Rostes dieselben Verbandstücke, welche für einen Theil Schwellen waren, in dem andern als Zangen übergreifen läfst, ebenso wie dieses Fig. 139 für den liegenden Rost dargestellt ist.

Beim Pfahlroste ist die Anbringung einer Spundwand sehr gewöhnlich. Ihr Zweck ist wieder kein andrer, als derjenige, der schon für den liegenden Rost angedeutet wurde, nämlich einmal die Verminderung des Wasserzudranges während des Baues und sodann die Zusammenhaltung des Erdkörpers, welcher das Gebäude tragen soll. Da aber hier ein tieferes Einsinken durch fernere Compression des Bodens nicht stattfinden darf, so ist eine innige Verbindung der Spundwand mit dem Roste nicht mehr als nachtheilig anzusehn und man erreicht dadurch noch den Vortheil, dafs man auch unter dem Roste Spundwände anbringen kann, die das Durchdringen der Quellen sicher verhindern, besonders wenn man

sie mit einem festen Thonschlage umgiebt. Dieses ist vorzugsweise in dem Falle wichtig, wenn das Gebäude ein Wehr oder eine Schleuse ist oder überhaupt einen höheren Wasserstand gegen einen tieferen begrenzt und als Stauwerk dient.

Wenn der letzterwähnte Fall nicht eintritt und die Spundwand nur den Rost umgeben soll, so erhält sie die passendste Stelle aufserhalb der vordern Pfahlreihe, weil sie nur hier für die sämmtlichen Pfähle die erwähnten Vortheile herbeiführen kann, und man thut sogar wohl, sie nicht gar zu nahe an diese zu stellen, weil das Einrammen der Pfähle durch sie schon erschwert würde. Jedenfalls mufs die Spundwand zuerst ausgeführt werden, weil sie sonst in den bereits stark comprimirten Boden nicht regelmäfsig und tief genug eindringen würde, man läfst sie aber einige Fufs hoch über den Rost vorragen, so dafs der dahinter angebrachte Thonschlag die Stelle eines niedrigen Fangedammes versieht. Die Zangen und Bohlen des Rostes treten so weit vor, dafs sie bis zur Spundwand reichen und sonach die ganze eingeschlossene Erdmasse, sowie auch den Thonschlag und dessen Uebermaurung vollständig bedecken. Fig. 147 Taf. XII zeigt diese Anordnung. Die schwache Spundwand ist mit keinem Fachbaume, das heifst mit keinem Rahmstück versehn, das auf ihr ruht, und worin alle Spundpfähle verzapft sind, sie wird vielmehr nur durch die an beiden Seiten dagegen lehnenden und mit einander verbolzten Zangen zusammengehalten. In vielen Fällen ist es jedoch nicht statthaft, die Spundwand vor den Rost vortreten zu lassen, auch ist bei gröfserer Stärke derselben der Fachbaum nicht füglich zu entbehren. Die Anordnung, die man alsdann wählt, zeigt Fig. 148. Der Fachbaum liegt hier neben der äufsern Schwelle und ist durch Schraubenbolzen mit ihr verbunden, während die Bohlen und Zangen bis zu seinem äufsern Rande reichen, also einen Theil des Druckes auf ihn übertragen. Die Zangen werden alsdann auf dieselbe Art, wie Fig. 146 zeigt, überkämmt, und nur wo sie auf dem Fachbaume aufliegen, müssen sie ausgeschnitten werden, da man den letztern nicht schwächen darf.

Die ganze Construction vereinfacht sich wesentlich, wenn man die Spundwand mit der äufsern Pfahlreihe verbindet und die Rostpfähle in der letzten mit Nuthen versieht, welche als Nuthpfähle schon die Stelle einzelner Spundpfähle vertreten. Man erspart

alsdann auch den Fachbaum, da dieser mit der äufsern Rostschwelle zusammenfällt. Diese Anordnung ist besonders in Frankreich üblich; Fig. 149 stellt sie im Grundrisse dar, sie ist indessen insofern bedenklich, als die Spundwand, welche doch zur Sicherung der festen Stellung der Rostpfähle angebracht wird, auf die äufsere Reihe derselben ihren Einflufs verliert. Aufserdem wird auch die Ausführung einer Spundwand, die auf solche Art durch einzelne stärkere und tiefer eindringende Pfähle unterbrochen wird, sehr erschwert. Zuweilen stellt man die Spundwand sogar innerhalb der äufsern Rostpfähle, um ihr eine mehr gesicherte Lage zu geben. Dieses ist z. B. bei der Kaimauer Fig. 144 geschehn. Eine solche Anordnung ist indessen nicht passend, denn wenn die erste Pfahlreihe ohne die Spundwand schon gehörig gesichert ist, so wird dieses von den folgenden eben so gut gelten und die Spundwand wäre ganz entbehrlich. Endlich mufs noch erwähnt werden, dafs man zuweilen auch die vordere Pfahlreihe ganz fortläfst und dafür nur die Spundwand anbringt, wie dieses z. B. bei der Umschliefsungsmauer des Humber-Docks zu Hull geschehn ist, wie Fig. 154 zeigt.

Unter den Abweichungen gegen die beschriebene Constructionsart des Pfahlrostes mufs zunächst die Weglassung der Zangen erwähnt werden, die in Frankreich, England und Holland sehr gewöhnlich ist. Beim liegenden Roste hatten die Querschwellen (Unterlager) offenbar den Zweck, ein ungleichmäfsiges Setzen zu verhindern. Beim Pfahlroste dagegen kann das Einsinken einzelner Stellen nicht erfolgen, indem jeder Pfahl gehörig fest stehn und sonach jede Rostschwelle hinreichend unterstützt sein soll. Die Ausgleichung des Druckes ist daher hier nicht erforderlich und die Zangen haben nur den Zweck, das Ausweichen der Rostschwellen nach der Seite zu verhindern, und dieselben immer in gleichem Abstande von einander zu erhalten. Die Tendenz zu einer solchen Bewegung ist in den meisten Fällen nicht vorhanden und zum Theil wird ihr schon durch die Befestigung des Bohlenbelages begegnet, der auf die Schwellen genagelt wird. Aus diesem Grunde ist die Fortlassung der Zangen in den meisten Fällen gerechtfertigt. Um einige Beispiele hiervon zu geben, ist Fig. 150 *a* und *b* im Längendurchschnitt und im Grundrifs die Fundirung einer massiven Brücke dargestellt, welche im Anfange die-

ses Jahrhunderts bei Catwijk aan den Rhijn bei Leyden für den grofsen Entwässerungscanal von Süd-Holland ausgeführt wurde. Die Brücke hat 60 Fufs Spannung, 10 Fufs Pfeilhöhe, die Rostschwellen erstrecken sich von dem einen Widerlager bis zum andern und sind jedesmal unter dem Bogen noch durch zwei Pfähle unterstützt. Auf diesen Schwellen liegt der Bohlenbelag und dazwischen befindet sich nur eine einzige Zange, welche 6 Zoll vorsteht und einen sichern Stützpunkt gegen den horizontalen Schub des Bogens bildet.

In England kommen bei den Pfahlrosten zuweilen Zangen vor, wie bei der neuen London-Brücke, Fig. 143. Ebenso sind solche auch beim Fundamente der Waterloo-Brücke vorhanden, gewöhnlich fehlen sie aber. Fig. 151 *a* und *b* zeigt im Grundrifs und im Querschnitt das Fundament eines Mittelpfeilers der Staines-Brücke über die Themse, wobei gegen die oben beschriebene Construction des Pfahlrostes auch noch der Unterschied stattfindet, dafs die Schwellen nach der Quere des Pfeilers gerichtet sind. Sodann stellt Fig. 152 *a* und *b* die Kaimauer zu Aberdeen dar, die Telford erbaute*), wobei die Zangen gleichfalls fehlen und sogar unter den schmalen Verstärkungspfeilern nicht vorkommen.

Perronet wendete die Zangen zuweilen an, wie bei der Brücke zu Mantes, gewöhnlich liefs er sie aber fort, wie bei denen zu St. Maxence, Chateau-Thierry und Neuilly. Da die letztere besonders den Ruhm ihres Erbauers begründete, so ist die dabei gewählte Anordnung des Pfahlrostes Fig. 153 *a* und *b* durch den Grundrifs und Querschnitt eines Pfeilers nachgewiesen, ich mufs aber bemerken, dafs die Zeichnungen im Perronetschen Werke ihrer sonstigen Sauberkeit unerachtet, dennoch wegen des kleinen Maafsstabes diesen Theil des Baues nicht ganz klar darstellen. Durch Vergleichung des Anschlages mit der Beschreibung des Baues und mit allen Zeichnungen ergab sich diejenige Construction, die hier mitgetheilt ist. Die äufsern Grundschwellen bilden einen geschlossenen Rahmen, der den ganzen Rost umgiebt, und sind 4 Zoll höher als die innern Schwellen, ihre Oberfläche trifft also in die Ebene des Bohlenbelages, der auf den Querschwellen aufliegt. Um die Bohlen, die zuweilen auch schräge verschnitten

---

*) *Life of Telford.* S. 134. Taf. 35.

sind und deren Enden daher nicht immer auf Querschwellen treffen, gehörig zu unterstützen, sind jene äufsern Schwellen mit Falzen versehn, worin die Enden der Bohlen und überhaupt der äufsere Rand des Bohlenbelages aufliegt. Es ist nicht zu verkennen, dafs der letztere hierdurch eine sehr gesicherte Lage erhält. Aufserdem ist der Rahmen und der ganze Rost noch dadurch verbunden, dafs die Querschwellen schwalbenschwanzförmig in den erstern verkämmt und die Enden der äufsern Schwellen gegenseitig überblattet sind. Eine Spundwand kommt hier nicht vor. Aehnliche Anordnungen wiederholen sich häufig in Frankreich *), doch gemeinhin giebt man den innern Schwellen dieselbe Höhe, wie den äufsern, so dafs die Bohlen parallel mit den letztern sich über beide erstrecken. In diesen Fällen pflegt man die schwalbenschwanzförmige Verkämmung und die Einrahmung des ganzen Rostes beizubehalten, und es läfst sich nicht leugnen, dafs hierdurch die Ausmaurung der Felder sehr erleichtert wird. Die bei uns gewöhnliche Anwendung der Zangen, und zwar ebensowohl wenn sie mit den Rostschwellen bündig, als wenn sie vor denselben vorstehend verlegt werden, ist aber in Frankreich keineswegs unbekannt **).

In England fehlen nicht nur sehr häufig die Zangen, sondern man ersetzt auch oft die Rostschwellen durch Halbhölzer und selbst durch Bohlen. Hughes ***) beschreibt die Ausführung des Pfahlrostes indem er sagt, man müsse die Pfahlköpfe horizontal abschneiden, etwa einen Fufs darunter den Boden ausgraben und diesen Raum bis zum Niveau der Pfahlköpfe mit Steinstücken und Mörtel, also mit Béton, wieder anfüllen. Alsdann solle man Bohlen von Eichen, Buchen oder Ellern von 4 bis 6 Zoll Stärke über die Pfahlköpfe legen und mit eisernen Nägeln, Bolzen oder mit Nägeln von hartem Holze daran befestigen. Er führt weiter an, dafs es üblich sei, eine Bohlenlage von gleicher Stärke, und zwar dicht schliefsend, über diese ersten Bohlen zu verlegen und darauf das Mauerwerk zu stellen. Auffallend ist es, dafs nach dieser Beschreibung die Zwischenräume zwischen den ersten Boh-

*) Mehrere Beispiele dafür befinden sich in dem *Recueil de dessins relatifs à l'Art de l'Ingénieur.*

**) *Gauthey, traité de la construction des ponts. Tome II. pag.* 289.

***) *The theory, practice and architecture of bridges. Vol. I.* Heft 4. S. 27.

len hohl bleiben, was gewifs fehlerhaft ist und was wahrscheinlich auch in England nie geschieht. Fig. 154 *a* und *b* zeigt den Grundrifs und Querschnitt von der Umfassungsmauer des Humber-Docks in Hull *). Die Pfähle unter der eigentlichen Mauer halten 9 Zoll im Durchmesser und diejenigen unter den Verstärkungspfeilern 8 Zoll, in beiden Fällen sind sie 10 Fufs lang. Die Spundwand, welche hier, wie bereits erwähnt, die Stelle einer Pfahlreihe vertritt, besteht aus wirklichen Spundpfählen, die mit Federn und Nuthen in einander greifen und 6 Zoll stark und 12 Fufs lang sind. Von den Schwellen, die sämmtlich aus Halbhölzern bestehn, liegen die innern flach auf den Pfahlköpfen, während die äufsern hochkantig gegen die Spundpfähle gebolzt sind. Der Bohlenbelag hat eine Stärke von 4 Zoll. Das sämmtliche Holz ist Kiefernholz von der Ostsee.

Eine andere Abweichung von der gewöhnlichen Construction bezieht sich darauf, dafs man ebenso wie beim liegenden Roste, den Bohlenbelag fortläfst, das Mauerwerk also unmittelbar auf den Rostschwellen und Zangen ruht. Beispiele dafür kommen besonders bei kleineren Brücken in Frankreich vor. Gegen dieses Verfahren wäre zu erinnern, dafs durch das ungleichmäfsige Setzen leicht schon vor der vollständigen Erhärtung des Mauerwerks der Verband desselben in den untern Schichten aufgehoben werden könnte. In England geschieht dieses gleichfalls, z. B. bei Fundirung der Kaimauer in Hull, die Fig. 144 zeigt, wobei wieder statt der Balken nur Halbhölzer benutzt sind. Bei den Pfeilern der eisernen Gerrards-Hostel-Brücke zu Cambridge, wo der dichte Bohlenbelag gleichfalls fehlt, sind sogar nur 6zöllige Bohlen über die Pfahlköpfe gestreckt und darauf genagelt, während ein 2 Fufs hohes Bétonbette zwischen den Pfählen den befestigten Untergrund für das Mauerwerk in den Rostfeldern bildet. Auch die Kammern der Schleuse des Verbindungsdocks in Hull sind in ähnlicher Art fundirt, wo die Zwischenräume zwischen den Bohlen eben so breit sind, wie die Bohlen selbst. Andrerseits geschieht es in England aber auch, dafs man, nachdem die Pfahlköpfe in einer Ebene abgeschnitten und die Zwischenräume ausgemauert sind, einen dichten Bohlenbelag darüber streckt und darauf einen zweiten so verlegt,

*) *Transactions of Civil Engineers. Vol. I. p.* 15.

dafs die Fugen sich kreuzen, worauf beide zusammengenagelt werden. Dieses Verfahren ist in der Fundirung der Ely-Brücke und der Haddlesey-Brücke angewendet worden.

Endlich erleidet der Pfahlrost zuweilen auch noch die Vereinfachung, dafs das Mauerwerk unmittelbar auf die Pfahlköpfe gestellt wird und also der eigentliche Rost ganz fehlt. Ein Beispiel hiervon ist die Fundirung des Georges-Docks in Liverpool, wovon Fig. 155 das Profil sowohl der Mauer selbst, als auch eines Verstärkungspfeilers darstellt. Die eigentliche Mauer, welche sehr schwach ist, und ihre Stabilität allein durch die Pfeiler erlangt, reicht bis zum niedrigsten Wasserspiegel herab, so dafs die Pfähle, die sie tragen, nie trocken werden, die Pfähle dagegen, die sich unter den Pfeilern befinden, reichen 6 Fufs höher herauf, sind also der abwechselnden Nässe und Trockenheit ausgesetzt, wenn nicht die vordere Mauer die Nässe zurückhält. Letzteres ist insofern wohl anzunehmen, als alle zwölf Stunden Hochwasser eintritt, das bedeutend höher ansteigt. Die Pfähle unter der eigentlichen Mauer sind in drei Reihen eingerammt und zwar stehn sie sich nicht gegenüber, sondern sind versetzt, so dafs sie unter sich ungefähr gleiche Abstände von 2 Fufs 10 Zoll von Mitte zu Mitte bilden. Unter den Pfeilern sind dagegen in derselben Richtung acht Pfahlreihen vorhanden, die abwechselnd zwei oder drei Pfähle enthalten. Diese sind von Mitte zu Mitte 2½ Fufs entfernt. Die Pfeiler sind 8 Fufs breit und im lichten Abstande von 30 Fufs angebracht. Sie treten 14 Fufs vor die Mauer vor, doch ist dabei die auffallende Anordnung getroffen, dafs die eigentliche Mauer an der innern Seite durch horizontale Bogen begrenzt wird, und in ihrer Basis neben den Pfeilern 4 Fufs über das in der Figur dargestellte Profil heraustritt, wie die punktirte Linie angiebt, so dafs also hier die Mauer nicht mehr überhängt. Die Pfähle bestanden bei diesem Bau aus Eichen, Buchen oder andern Holzarten. Sie hatten unter der Mauer selbst die Länge von 22, und unter den Pfeilern von 28 Fufs. Sie waren nicht beschlagen und wurden sorgfältig abgeschnitten in einer Ebene, die ihre Richtung unter einem rechten Winkel traf und im Verhältnifs von 1 zu 7 gegen den Horizont geneigt war. Alsdann grub man den Boden ringsum die Pfähle 12 Zoll tief aus und füllte die Zwischenräume mit einem Mauerwerk von Hau-

steinen, die in Mörtel versetzt wurden. Dieses Mauerwerk wurde aber einen halben Zoll über die Pfahlköpfe heraufgeführt, damit die Füllmauer des Rostes sich noch etwas senken konnte. Die untere Schicht der Kaimauer bestand aus starken und grofsen Platten eines besonders festen Steines, die auch in den untern Flächen sorgfältig bearbeitet waren, um möglichst gleichmäfsig auf den Pfahlköpfen aufzuliegen. Das übrige Mauerwerk ist aus Quadern ausgeführt *).

In gleicher Weise sind auch die Pfeiler der Chelsea-Brücke bei London gegründet. Dieses ist eine Hängebrücke, deren mittlere Oeffnung 323 Fufs mifst, während die beiden Seiten-Oeffnungen halb so weit sind. Die Breite der Brücke beträgt 45¼ Rheinländische Fufs. Sie ist nach dem von Page im Jahr 1846 aufgestellten Projecte ausgeführt. Bei der Gründung der Pfeiler dieser Brücke kam es darauf an, die Wasserstrafse nicht zu beengen, man durfte daher keine weit vortretenden Fangedämme anwenden. Zuerst wurden in gegenseitigen Abständen von 3 Fufs in der ganzen Ausdehnung der Pfeiler Pfähle eingerammt, die 13¼ Zoll im Gevierten hielten, und die nach dem verschiedenen Widerstande, den sie fanden, 24 bis 39 Fufs unter Niedrig-Wasser eindrangen. Sodann umgab man die Pfeiler mit einer gufseisernen Umfassung. Dieselbe bestand aus Röhren von 12 Zoll äufserm Durchmesser und 26 Fufs Länge, die an den gegenüberstehenden Seiten mit Nuthen versehn waren. In letztere schob man 1 Zoll starke und 7 Fufs lange gufseiserne Platten ein. Hierdurch wurde eine Umschliefsung bis auf 2 Fufs über Niedrig-Wasser gebildet. Der Raum innerhalb dieses Kastens wurde darauf bis zu dem groben Kiese, der auf dem ursprünglichen Kleiboden lagert, zwischen den Pfählen ausgebaggert, und mit Béton gefüllt. Letzterer erreichte nahe das Niveau des niedrigen Wassers und in dieser Höhe waren auch die Pfähle abgeschnitten. Die darauf gelegte Werksteinschicht, mit der das Mauerwerk begann, ruht daher theils auf den Pfählen und theils auf dem Béton **).

Es bleibt endlich in Betreff des Pfahlrostes noch die Frage zu erörtern, ob es ausreichend ist, denselben nur in solche Tiefe

*) *Strickland, Reports on Canals, Railways, Roads and other subjects. Philadelphia* 1826. *pag.* 11.

**) *Civil Engineer and Architects Journal. Vol. XXVII.* 1864. *p.* 310.

zu legen, dafs er immer unter Wasser bleibt, oder ob man, wenn an der betreffenden Stelle vielleicht eine grofse Wassertiefe stattfindet, die Pfähle unmittelbar über dem Grunde abschneiden und hier den Rost verlegen mufs. Die Kosten des Baues und besonders für die Wasserwältigung in der Baugrube vermehren sich ungemein, wenn man sehr tief fundirt, und da die Pfähle und der ganze Rost immer vom Wasser bedeckt sind, wenn man auch nur wenig unter dem kleinsten Sommerwasserstande bleibt, so möchte es passend erscheinen, die erste Anordnung zu wählen. Alsdann erregt aber die freie Stellung der Pfähle Besorgnifs, und zwar theils in Bezug auf das Verbiegen und Brechen, theils aber auch, indem sie dem fliefsenden Wasser ausgesetzt bleiben und dadurch mit der Zeit leiden. Wenn sie aber nicht tief in den Boden eingreifen, so geschieht es auch wohl, dafs sie sich sämmtlich überneigen und umfallen. Besonders ist dieses zu besorgen, sobald der Rost eine Futter- oder Kaimauer trägt, die einem starken Seitendrucke ausgesetzt ist. Auf solche Art stürzte ein grofser Theil der Kaimauer am neuen Dock in Bremerhaven, noch vor Eröffnung des letzteren ein.

In manchen Fällen hat man die Zwischenräume zwischen den Rostpfählen mit Faschinen ausgepackt, wodurch indessen wohl nur wenig Sicherheit erreicht wird, auch die darüber geschüttete Erde, selbst wenn sie auf der äufsern Seite durch eine Spundwand gedeckt ist, kann leicht ausgespült werden, und lagert sich auch nie so fest, dafs sie dem Seitendrucke hinreichenden Widerstand leistet. Man mufs also, wie bereits oben erwähnt, entweder durch Strebepfähle oder durch Einbringen von Béton die nöthige Widerstandsfähigkeit dem Bauwerke geben, wenn man nicht den Rost bis auf den festabgelagerten Boden senkt, der auch bei etwa eintretenden Vertiefungen noch durch eine Erd- oder Steinböschung gegen Ausspülung zu sichern ist.

Beim Bau der Brücke zu Rouen füllte man den Raum zwischen den Pfählen auf 13 Fufs Höhe mit Béton an und umgab das Ganze mit einer losen Steinschüttung. Die Kaimauer im Hafen zu Rouen fundirte dagegen de Cessart im Jahre 1779 sogar 36 Fufs über dem Strombette. Fig. 156 zeigt die dabei getroffene Anordnung. Zuerst wurde der Boden stellenweise 25 Fufs hoch, oder bis auf 16 Fufs unter dem kleinsten Wasser mit dem Mergelkalke und den

Feuersteinknollen, wie sie sich dort überall in einiger Tiefe vorfinden, ausgefüllt, um den Pfählen sogleich einen festen Stand zu geben. Nachdem hierauf die Rammarbeiten beendigt und die Pfähle unter Wasser abgeschnitten waren, erfolgte die zweite Schüttung. Alsdann wurden die Futtermauern in Caissons aufgeführt, während man aber das Terrain hinter dem Kai erhöhte, so brachte man noch Erdanker an, die gegen das Banket der Mauer verbolzt wurden. Diese Anker sollten nur so lange einigen Widerstand äufsern, bis die Erde sich gehörig gesetzt haben würde, es ist jedoch zweifelhaft, ob sie in der frisch geschütteten Erde den nöthigen Widerstand leisten konnten. Endlich wurde die Hinterfüllung ergänzt und gleichzeitig noch eine dritte Schüttung vor der Kaimauer angebracht *).

Auf der gegenüberliegenden Seite der Seine erbaute Lamandé im Jahre 1784 eine ähnliche Kaimauer, doch brachte er eine starke Verstrebung, wie Fig. 157 zeigt, zwischen den Rostpfählen an. Die Streben bestanden aus doppelten Zangen, die über Wasser mittelst Bolzen zusammengesetzt wurden und so ausgeschnitten waren, dafs sie die Oeffnungen für die Pfähle zwischen sich freiliefsen. Da jedoch ein hinreichender Spielraum hier erforderlich war, so trieb man später in diesen, zwischen die Pfähle nnd den äufsersten Bolzen der untern Zangen noch je zwei starke Keile ein. Die untere Zange lag dabei auf der natürlichen Böschung. Ohne Zweifel wäre die Verstrebung sicherer und in der Ausführung leichter gewesen, wenn man die Pfähle schräge eingerammt hätte. Es mufs noch bemerkt werden, dafs der Wasserspiegel in dieser, wie auch in der vorhergehenden Figur der niedrigste ist.

Wenn neben dem auf einen Pfahlrost zu stellenden Bau keine bedeutende Wassertiefe erforderlich ist, so kann man durch vorhergehende Anschüttung eines festen Bodens den Stand der Pfähle sichern. Dieses geschah zum Beispiel beim Bau der Brücke über die Wiese St. Nicolas in der Bretagne in der Eisenbahn von Nantes nach Lorient und Brest. Die Brücke sollte eine Weite von nahe 48 Fufs erhalten und zum Durchgange von Canalschiffen von etwa 4 Fufs Tiefgang eingerichtet werden. 38 Fufs unter dem ziemlich niedrigen Terrain fand sich fester Felsboden,

*) *de Cessart, description des travaux hydrauliques. Tome I.* Paris 1806.

darüber lag zunächst eine schwache Torfschicht vielfach mit Holzstücken durchzogen, und hierauf der schlammige Grund, der in der Nähe der Oberfläche bis etwa in 6 Fuſs Tiefe etwas fester war. Vor dem Beginne des Baues überschüttete man die ganze Baustelle mit festem Boden, durchschnittlich 38 Fuſs hoch. Der weiche Untergrund wurde dadurch fast vollständig fortgedrängt, so daſs die frühere etwas compactere obere Schicht beinahe den Torf erreichte. Nachdem dieses geschehn war, und keine Bewegung sich mehr zeigte, begann man das Einrammen der Pfähle unter den Stirnmauern, auf denen die Brücke ruhen sollte. Diese war aber keine feste, vielmehr eine Zugbrücke, es entstand daher die Besorgniſs, daſs die beiden Widerlager in Folge des Druckes der dagegen geschütteten Dämme sich dennoch einander nähern könnten. Deshalb wurde schlieſslich noch unter der Sohle des Fluſsbettes ein 3 Fuſs starkes Bétonbette angebracht, welches die Mauern gegenseitig absteift *).

Den Rost in groſser Tiefe zu verlegen, verbietet sich gewöhnlich durch den starken Zudrang des Wassers in der Baugrube, wenn es aber auch möglich wäre, durch besonders kräftige Pumpen eine sehr tiefe Grube trocken zu legen, so lockern die eindringenden Quellen doch den Boden auf, woher selbst die Pfähle den festen Stand verlieren, und sogar zuweilen sich so sehr von der umgebenden Erde trennen, daſs sie aufschwimmen. Um in solchem Falle noch einen Rost auf die unter Wasser in gleicher Höhe abgeschnittenen Pfähle aufzubringen, hat man verschiedene Methoden versucht, die kurz angedeutet werden mögen, wenn gleich die oben erwähnte Bétonbettung zwischen und über den Pfählen unbedingt am passendsten ist.

Zunächst muſs der Fundirung in Caissons gedacht werden, das heiſst in wasserdicht schlieſsenden groſsen hölzernen Kasten, deren Boden aus nebeneinander liegenden Balken besteht, und der die Stelle des Rostes vertritt. Diese Kasten werden schwimmend über die Pfähle gebracht, versenkt, und in ihnen wird das Mauerwerk bis über Wasser aufgeführt, worauf man die Seitenwände entfernt. Von dieser Constructions-Art wird später ausführlicher die Rede sein.

---

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1864. *I. pag.* 294.

Eine andre mehrfach zur Anwendung gekommene Methode, die sich jedoch nur auf mäfsige Wassertiefen von etwa 3 Fufs beschränkt, beschreibt schon Gauthey *). Nachdem die Pfähle möglichst regelmäfsig eingerammt und in gleicher Höhe unter Wasser abgeschnitten sind, verbindet man den Rost aus Lang- und Querschwellen und schneidet beide bis zur Mitte ein, so dafs sie sowohl in der obern, wie in der untern Fläche bündig sind. Die Ueberkreuzungen müssen aber jedesmal auf Pfahlköpfe treffen. Jede Ueberkreuzung wird durchbohrt und ein mit Widerhaken versehener Bolzen in das Bohrloch gestellt. Ist der Rost in dieser Weise vorbereitet, so bringt man ihn schwimmend über die Pfähle und versenkt ihn durch aufgelegte grofse Steine, die man jedoch leicht abnehmen kann, wenn er beim ersten Herablassen nicht vollständig die Pfahlköpfe treffen sollte. Sobald letzteres erreicht ist, so treibt man jene Bolzen mittelst darauf gestellter Eisenstangen, die unten in einer Höhlung die Köpfe aufnehmen, in die Pfähle ein, und beseitigt die aufgelegten Steine. Die Zwischenräume zwischen den Verbandstücken, oder die rechtwinkligen Felder werden nunmehr mit Steinen und Béton sorgfältig und so ausgefüllt, dafs sie sich bis zu der obern Fläche des Rostes erheben. Der Bohlenbelag wird aus zwei Lagen sich kreuzender Dielen gebildet, die nachdem sie in sich verbunden sind, ebenso wie der Rost versenkt und auf letzteren aufgenagelt werden. Nach diesen Vorbereitungen beginnt man den Bau mit dem Verlegen einer Schicht Werkstücke, die so hoch sind, dafs sie ungefähr den Wasserspiegel erreichen. Die Fugen zwischen denselben kann man schon, wenigstens theilweise, mit steifem Mörtel füllen, und das darauf zu stellende Mauerwerk wird in gewöhnlicher Weise ausgeführt.

Beim Bau der Brücke zu Berry au bac wurde diese Fundirungsart angewendet, auch Wiebeking versuchte sie bei seinen Brückenbauten, doch gelang es ihm nicht, die Pfähle in gleicher Höhe abzuschneiden, woher er durch Taucher noch Keile zwischen die Pfahlköpfe und den Rost eintreiben liefs. Verschiedene Modificationen dieses Verfahrens sind später vorgeschlagen **), wodurch es auch möglich sein soll, den Rost bis auf 6 Fufs unter

*) *Traité sur la construction des ponts. Vol. II.* Paris 1813. *pag.* 290.

**) Förster's allgemeine Bauzeitung. 1863. Seite 143.

Wasser zu versenken, doch dürfte dadurch wenig gewonnen werden, da man in dieser Tiefe doch keine gewöhnliche Maurerarbeit ausführen kann.

Wichtig ist die Fundirung des linkseitigen Pfeilers der Aar-Brücke bei Aarau in der Schweiz, wobei der Ingenieur Hürsch ein Verfahren in Anwendung brachte, das in gewisser Beziehung dem beschriebenen ähnlich ist*). Die alte Brücke war von dem zuweilen sehr reifsenden Flusse lange Zeit hindurch angegriffen worden, und um namentlich den linkseitigen Pfeiler zu halten, der besonders von der heftigsten Strömung getroffen wurde, hatte man vor demselben Faschinenwerke und ganze Bäume versenkt und theils mit grofsen Steinen, theils aber mit beladenen Kähnen beschwert. Der Baugrund war also im höchsten Grade verunreinigt und dennoch mufste die neue Brücke wieder auf derselben Stelle, wo die alte gestanden hatte, erbaut werden. Dazu kam noch, dafs wegen der grofsen Tiefe davor die Fundirung eben so weit herabgeführt, oder der Rost 10½ Fufs unter das niedrigste Wasser verlegt werden mufste.

Man machte mit der Regulirung des Ufers und mit einer Umschliefsung der Baugrube den Anfang, um der starken Durchströmung Einhalt zu thun, eine Senkung des Wasserstandes war aber wegen des unreinen Grundes unmöglich. Sodann räumte man die Baugrube auf, indem mit Zangen die Steine, wie das Holz und Strauch gehoben und herausgerissen wurden, so dafs man etwa bis 11 Fufs Tiefe alle hier lagernden Gegenstände entfernt hatte. Nunmehr wurde die Rammarbeit begonnen. Der Rost, der 52 Fufs lang und 26 Fufs breit war, sollte auf 8 Pfahlreihen ruhen, von denen jede aus 11 Pfählen bestand. Bei dem überaus unreinen Untergrunde war es aber unmöglich diese regelmäfsig einzutreiben, sie wichen bald nach einer, bald nach der andern Seite über, und erreichten sehr verschiedenartige, doch immer nur mäfsige Tiefen. Mit grofser Sorgfalt wurden sie sämmtlich in gleicher Höhe abgeschnitten und über jede Querreihe eine 5 Zoll hohe und 13 Zoll breite Bohle nach der oben beschriebenen Methode genagelt, die dazwischen befindlichen Räume aber bis zur Oberfläche der letzteren mittelst eingeschütteter Steine ausgeglichen. Weshalb diese

*) Förster's allgemeine Bauzeitung. 1845. Seite 181 ff.

Bohlen aufgebracht wurden, ist nicht ersichtlich, da der Rost so eingerichtet war, dafs er in seiner ganzen Ausdehnung eine horizontale Ebene bildete, also auf jedem Pfahlkopfe, wenn solcher auch aus der Reihe gewichen war, sicher auflag.

Der Rost bestand aus Balkenholz von 9 Zoll Höhe, während die Breite der Verbandstücke etwas gröfser war. Die Lang- wie die Querschwellen waren überschnitten, so dafs sie sowohl oben, wie unten bündig lagen. In jedem Felde waren aber die Querschwellen auf der obern Seite mit 3 Zoll breiten und 4½ Zoll tiefen Falzen versehn, worauf Zwischenbalken von 9 Zoll Höhe ruhten, die also, indem ihre Zapfen die halbe Höhe hatten, sowohl oben, wie unten mit den Hauptverbandstücken in dieselbe Ebene fielen.

Eine wesentliche Abweichung der Benutzungsart dieses Rostes von der oben beschriebenen Versenkung war durch die grofse Wassertiefe geboten. Man wollte nämlich den Rost nicht sogleich herablassen, vielmehr ihn über den Pfählen schwebend erhalten und ihn nur in dem Maafse senken, wie die Mauerschichten sich darüber erhoben, damit die Arbeit immer im Trocknen ausgeführt werden könnte. Zu diesem Zwecke umgab man den Rost mit einer auf eingerammten Pfählen ruhenden Rüstung. Da aber die Entfernung der gegenüberstehenden Wände desselben 34 Fufs betrug, also zu grofs war, um an die übergespannten Balken den Rost mit der Mauer sicher aufhängen zu können, so wurden noch 6 Pfähle in einer Mittelreihe eingerammt, von denen 4 durch die Rostfelder hindurchgingen. Diese bildeten eine sichere Führung beim Herablassen, und die Zwischenbalken waren so ausgeschnitten, dafs sie diese vierkantigen Pfähle nahe umschlossen.

Die drei so dargestellten Pfahlreihen wurden verholmt und darüber 11 starke Querbalken gelegt, welche die 39 eisernen Schrauben trugen, woran der Rost hing. Diese Schrauben waren sowohl oben wie unten mit Gewinden versehn. Die untern Gewinde waren links geschnitten, griffen durch die Langschwellen des Rostes neben den Querschwellen hindurch und wurden hier mit starken Muttern gehalten. Die obern Gewinde waren rechts geschnitten und so lang, dafs beim Zurückdrehn der Muttern, die auf den Querbalken des Gerüstes lagen, der Rost vollständig herabgelassen werden konnte.

Man schrob nun den Rost so weit auf, dafs seine obere Fläche einige Zolle über Wasser schwebte und versetzte darauf die erste Schicht Werksteine. Alsdann wurden die obern Muttern zurückgedreht, so dafs die fertige Mauerschicht wieder nur wenig über den Wasserspiegel sich erhob. Bei diesem Zurückdrehn der Muttern war zu besorgen, dafs die Schrauben selbst, wenn sie nicht in irgend einer Weise gehalten würden, an dieser Bewegung Theil nehmen möchten. Sie würden in diesem Falle sich von den untern Muttern gelöst haben, falls beide Gewinde in gleicher Richtung geschnitten gewesen wären. Bei der getroffenen Anordnung konnte dieses aber nicht geschehn, und man brauchte nur, nachdem die Senkung des Rostes vollständig erfolgt und die obere Mutter abgezogen war, die Schraube in umgekehrter Richtung zu drehen, um sie ausheben zu können. Das Mauerwerk wurde übrigens nicht unmittelbar bis an die Schrauben herangeführt, vielmehr waren die Steine so zugerichtet, dafs sich hohle Cylinder von 8 Zoll Durchmesser um sie bildeten.

Es war Absicht, in dieser Weise die Mauer so hoch aufzuführen, dafs ihre obere Fläche einige Fufs tief unter Wasser lag, diese aber mit einer Reihe Werksteine ringsumher zu umgeben, die einen Fangedamm um den noch auszumauernden hohlen Raum bilden sollte. Die Oeffnungen um die Schrauben sollten nach der vollständigen Versenkung des Rostes und nach Beseitigung der Schrauben und der hindurchgreifenden Rüstpfähle mit Béton gedichtet und alsdann der obere Raum ausgepumpt werden. Die Stärke der 39 Schrauben, die nicht angegeben wird, war nach der Mittheilung so gewählt worden, dafs das daran hängende Gewicht jederzeit sicher getragen werden konnte, vorausgesetzt, dafs man nach Vollendung jeder einzelnen Schicht, das Mauerwerk möglichst tief eintauchen liefs. Die Schrauben waren auch möglichst gleichmäfsig über die ganze Fläche vertheilt, und sämmtliche Muttern wurden beim Herablassen gleichzeitig und genau übereinstimmend gedreht, wodurch die gleichmäfsige Senkung des Rostes ermöglicht wurde.

Nach Vollendung der zweiten Schicht und nachdem man die äufsere Reihe der dritten Schicht versetzt hatte, wodurch das Mauerwerk sich etwa 8 Fufs über den Rost erhob, brachen indessen während des Versenkens plötzlich 3 Schrauben, und wenn man diese

auch durch Haken, die von aufsen untergeschoben wurden, zu ersetzen sich bemühte, so sah man sich doch gezwungen, nunmehr den Rost möglichst schnell auf die Pfähle zu stellen und einige Fufs tief die Maurer-Arbeit unter Wasser fortzusetzen.

§. 35.
Die Zugramme.

Zum Eintreiben der Rostpfähle, wie auch der Spund- und andrer Pfähle bedient man sich der Rammen. Der wesentlichste Theil derselben ist der hölzerne oder eiserne Rammklotz, auch der Bär genannt. Dieser wird abwechselnd gehoben und übt beim jedesmaligen Herabfallen auf den Pfahl den Stofs aus, wodurch letzterer tiefer in den Grund eindringt. Das Heben des Klotzes erfolgt entweder aus freier Hand; alsdann ist keine weitere Vorrichtung erforderlich und die ganze Ramme besteht nur aus dem Klotze. Man nennt eine solche die Handramme. Hat der Klotz dagegen ein gröfseres Gewicht, so dafs er nicht mehr unmittelbar gefafst werden kann, so hängt er an einem Tau, das über eine Rolle gezogen und am hintern Ende mit den Zugleinen verbunden ist, von denen jede durch einen Arbeiter gefafst und bei jedem Hube angezogen wird. Diese Ramme, welche eine feste Rüstung erfordert, heifst Zugramme. Bei der Kunstramme endlich erfolgt das Heben des Klotzes durch eine mehr complicirte mechanische Vorrichtung, und wenn diese durch Dampfkraft in Bewegung gesetzt wird, so nennt man die Ramme eine Dampframme.

Die Handramme besteht wohl immer aus Holz, und zwar pflegt man der Festigkeit wegen dazu Eichenholz anzuwenden. Man versieht sie mit Armen oder Bügeln, an welchen die herumstehenden Arbeiter sie fassen und bequem heben und führen können, indem aber beim tieferen Eindringen des Pfahles auch der Klotz tiefer herabsinkt, während die Arbeiter unverändert in gleicher Höhe stehn bleiben, so mufs man dafür sorgen, dafs der Klotz in verschiedener Höhe gefafst werden kann. Zu diesem Zwecke bringt man zuweilen vier Arme an, die in der halben

Höhe des Klotzes befestigt und gegen das eine Ende desselben gerichtet sind. Sobald der Pfahl gesetzt wird, also noch hoch ist, gebraucht man die Ramme so, dafs die Arme abwärts gekehrt sind, man dreht sie aber um, sobald der Pfahlkopf sich nur wenig über dem Boden befindet.

Vortheilhafter ist es, die Ramme mit langen Bügeln zu versehn, die von oben bis unten herabreichen und sonach in jeder Höhe einen bequemen Angriffspunkt gewähren. Die Bügel müssen jedoch mindestens zwei Zoll vom Klotze entfernt bleiben, weil sonst die Arbeiter ihre Hände klemmen und wund stofsen. Am untern Ende versieht man die Handramme mit einem eisernen Ringe, der fest schliefsen mufs, um das Spalten des Klotzes zu verhindern. Am vortheilhaftesten ist es, ihn heifs und zwar von oben aufzutreiben, wodurch sein Herabfallen verhindert wird. Gewöhnlich wählt man die Form einer achteckigen abgestumpften Pyramide, weil diese sich ohne grofsen Verschnitt aus dem Rundholze am leichtesten darstellen läfst. Fig. 158 Taf. XIII zeigt in der Seitenansicht und der Ansicht von oben eine solche Ramme. Bei ihrer Anfertigung mufs man besonders darauf sehn, dafs das Holz trocken ist, weil es bei einem späteren Austrocknen schwinden und spalten, auch der eiserne Ring sich lösen würde.

Durch Nägel und Krammen läfst sich bei den heftigen Erschütterungen der Ring nicht sicher befestigen, es ist auch vortheilhaft, die Nägel ganz zu vermeiden, damit der Ring, sobald einiger Spielraum entsteht, tiefer herabsinken und sich dadurch von Neuem auf dem stärkeren Holze feststellen kann, in ähnlicher Art, wie dieses bei Gelegenheit der Zugrammen näher erörtert werden wird.

Den Gebrauch der Handramme kann man keineswegs bequem nennen und am wenigsten, wenn der Pfahl noch hoch steht und die Arbeiter den Klotz weit heben müssen, bei unvorsichtiger Handhabung kann derselbe alsdann leicht neben dem Pfahle vorbeischlagen und die Leute beschädigen. Diese Besorgnifs ist Veranlassung, dafs die Arbeit gemeinhin sehr langsam von statten geht und der Klotz nur wenig gehoben wird. Aus diesem Grunde ist es auch unzulässig der Handramme ein grofses Gewicht zu geben. Man darf auf jeden Arbeiter kaum 25 Pfund rechnen, und da nicht mehr als höchstens vier Mann dabei angestellt wer-

den können, so beschränkt sich das Gewicht der Handramme im Maximum auf 100 Pfund, und dennoch dürfen nur starke und geschickte Leute dabei angestellt werden, welche auch Uebung haben, um gleichmäfsig und kräftig die Ramme zu führen.

Um den Effect der Handramme zu vergröfsern, hat man manche Modificationen dabei eingeführt. Zunächst gehört dahin die Anbringung einer eisernen Stange in der Mittellinie des Pfahles, an welcher der Klotz herabgleitet. Fig. 159 stellt sie dar. Sie ist wenigstens 5 Fufs lang und 1¼ Zoll stark, unten mit einer Holzschraube versehn und darüber befindet sich ein viereckiger Kopf, mittelst dessen man sie mit dem Schlüssel fassen und aus- und einschrauben kann. Jeder Pfahl wird am Kopfe, und zwar genau in der Achse angebohrt, und ehe man den Pfahl setzt, schraubt man die eiserne Stange hinein. Der Rammklotz, der in diesem Falle etwas niedriger und stärker sein kann als sonst, ist der Länge nach und zwar mit reichlichem Spielraum durchbohrt. Er wird, nachdem der Pfahl gesetzt ist, oder auch schon vorher aufgeschoben, und indem die Leute nicht mehr ein Herabfallen desselben besorgen dürfen, so arbeiten sie kräftiger. Einige Uebung ist indessen auch hierbei noch nothwendig, weil bei ungleichmäfsigem Anheben eine starke Reibung eintreten würde.

Endlich ist zu erwähnen, dafs man beim Gebrauche der Handramme zuweilen auf dem einzurammenden Pfahle eine leichte Rüstung für die Arbeiter anbringt und diese alsdann nicht nur den Druck auf den Pfahl durch ihr Gewicht vermehren, sondern beim tieferen Eindringen desselben auch mit ihm herabsinken, und daher den Pfahlkopf immer in der passendsten Höhe behalten. Fig. 160 *a* und *b* zeigt diese Rüstung in der Ansicht von der Seite und von oben. Der Pfahl wird zwei Fufs unter seinem Kopfe durchbohrt und eine starke Brechstange hindurchgesteckt. Nachdem man ihn durch Hin- und Herbewegen so weit in den Boden getrieben hat, dafs er ohne weitere Unterstützung sicher steht, so legt man zwei Bohlen, deren hintere Enden beschwert werden, auf die Brechstange. Diese Bohlen dienen noch zur vorläufigen Befestigung des Pfahles, wenn eine solche nöthig sein sollte, und zwei kurze Brettstücke werden darüber gelegt. Alsdann stellen sich zwei, auch wohl drei oder vier Arbeiter auf die Bohlen und treiben zuerst leise den Pfahl ein, sobald er sich aber

fester stellt, so rammen sie mit voller Kraft und alsdann erst treten die oben erwähnten Vortheile ein.

Von den beiden erwähnten Methoden hat man mehrfache Anwendung gemacht und darin eine bedeutende Erleichterung im Gebrauche der Handramme gefunden, unter andern ist dieses auch bei der Correction des Wertach-Flusses geschehn, wobei aber die Rüstung noch besonders unterstützt wurde *).

Bei der Zugramme wird der Klotz, wie bereits erwähnt, nicht aus freier Hand, sondern mittelst eines Taues gehoben. Seine Führung geschieht zuweilen durch unmittelbares Anfassen, die gewöhnliche Anordnung ist aber diese, dafs an der Rüstung besondere Ruthen angebracht sind, welche den Klotz sicher führen. Es sind dieses die Läufer oder Läuferruthen, auch Mäkler genannt, die entweder einfach oder doppelt sind und von den Armen des Klotzes umfafst werden, oder einen Schlitz bilden, durch welchen die Arme hindurchgreifen. Die Figuren 161, 162 und 163 zeigen die drei verschiedenen hierbei vorkommenden Verbindungsarten. Fig. 161 ist diejenige, welche bei uns die üblichste ist und den Vortheil gewährt, dafs man nur eine Läuferruthe braucht. Der Klotz hat vier Arme, die seitwärts an der Ruthe vorbeigehn und von denen je zwei hinter der Ruthe noch durch Riegel mit einander verbunden sind. Dabei tritt leicht der Uebelstand ein, dafs der Klotz sich gegen die ziemlich schmale Fläche der Ruthe nicht sicher lehnt und stark seitwärts schwankt, was bei längerem Gebrauche der Ramme immer zuzunehmen pflegt, indem die Kanten der Ruthe sich nach und nach abstofsen. Nach Fig. 162 ist der Klotz nur mit zwei Armen versehn, die zwischen den beiden Läuferruthen hindurchgreifen und wieder durch Riegel gehalten werden. Wenn der Schlitz nur 2½ bis 3 Zoll breit ist, so pflegt man beide Ruthen aus einem Holzstücke zu bilden, indem man so weit, als der Schlitz sich erstreckt eine Bohle ausschneidet. In diesem Falle sind aber die Wangenstücke leicht so schmal, dafs sie nicht die nöthige Steifigkeit behalten, wenn man sie nicht durch Bügel in der Mitte verbindet, wovon bei Gelegenheit der Kunstrammen die Rede sein wird. Häufig werden die beiden

*) Voit, über die Correctionen des Wertach-Flusses; in Crelle's Journal. Bd. II. S. 251.

Ruthen aus zwei schwachen Hölzern ausgeschnitten und oben wie unten durch dazwischen geschobene und gehörig befestigte Bohlenstücke in der beabsichtigten Entfernung von einander gehalten, wie Fig. 167 zeigt.

Nach beiden Anordnungen lehnt sich der Klotz beim Aufziehn und beim Herabfallen nur mit einer Seite an die Ruthe und dieser Umstand giebt Veranlassung, daſs er zu schwanken pflegt, die Befestigung der Arme und Riegel erfordert aber groſse Vorsicht, damit sie nicht etwa abbrechen oder herausfallen, was für die darunter stehenden Arbeiter sehr gefährlich wäre. Bei den Rammen, die man in Holland gewöhnlich sieht und welche auch in Frankreich häufig vorkommen, sind diese beiden Uebelstände dadurch umgangen, daſs nach Fig. 163 der Klotz acht Arme hat, welche zu beiden Seiten symmetrisch die Ruthen umfassen. Man nennt die beiden Ruthen in diesem Falle die Schere und die ganze Ramme heiſst alsdann eine Scher-Ramme. Diese Anordnung gewährt manche Vortheile. Der Klotz kann bis zu beliebiger Tiefe unter die Verschwellung der Rammen herabfallen, ebenso kann man ihn seitwärts oder schräge wirken lassen, wie die jedesmalige Richtung des Pfahles es fordert. Die Arbeit wird hierdurch genauer, und besonders bei Ausführung von Spundwänden ist diese Ramme sehr brauchbar.

Was die Aufstellung der Zugrammen betrifft, so sind in den Figuren 164 bis 168 *) diejenigen Arten der Rüstungen dargestellt, welche wesentliche Verschiedenheiten zeigen. Fig. 164 ist die Ramme, die im nördlichen Deutschland besonders häufig vorkommt, und die Eytelwein die vierschwellige Ramme nennt. Sie zeichnet sich durch die Menge der starken Verbandstücke, woraus sie besteht, vor allen übrigen aus, und wenn die groſse Holzmasse durch ihr Gewicht auch zum festen Stande wesentlich beiträgt, so ist eben dieses Gewicht beim Aufstellen und Niederlegen der Ramme und beim Verfahren derselben sehr hinderlich. Gewöhnlich sind die Schwellen sowohl unter sich, als auch mit den Streben und der Läuferruthe durch Zapfen und Ueberwürfe

*) Diese Figuren sind so aufgetragen, daſs das Auge 20 Fuſs hoch über dem Boden der Rammen liegt und 8 Zoll von der Bildfläche entfernt ist, die vordere Seite der Läuferruthe schneidet aber unter einem Winkel von 45 Graden die Bildfläche.

verbunden, während die Streben am obern Ende mittelst Versatzung und durchgesteckter Schrauben- oder Splintbolzen an die Läuferruthe befestigt werden. In die Läuferruthe ist über den Streben die Rammscheibe eingelassen, welche das Rammtau vom Klotze nach der sogenannten Stube oder dem Raume über der Verschwellung führt. Hier stehn die Arbeiter auf einem losen Dielenboden und ziehn mittelst der angesteckten Zugleinen das hintere Ende des Rammtaues stofsweise herab, wodurch sie den Klotz heben, der beim plötzlichen Nachlassen des Zuges auf den Pfahl fällt und denselben eintreibt. Die eine Strebe in der vordern Wand der Ramme, und zwar die linkseitige, ist mit Sprossen versehn, auf welchen ein Arbeiter hinaufsteigen und die nöthigen Verrichtungen beim Einbringen der Taue, beim Schmieren der Scheiben und dergleichen bewirken kann. Diese Ramme hat endlich noch eine besondere Vorrichtung zum Setzen der Pfähle, nämlich eine Winde, die sich in Einschnitten auf den hintern Streben bewegt und durch eiserne Bügel darin gehalten wird. Das Windetau geht von ihr über den Krahnbalken, der auf dem obern Ende der Läuferruthe aufliegt und häufig noch durch Winkelbänder befestigt ist, oder wohl nur mit starken Leinen angebunden wird. Das Richten dieser Ramme geschieht, indem man die Läuferruthen nebst den beiden vordern Streben und der zugehörigen Schwelle flach auf den Boden legt und hierauf die ganze Verschwellung stellt, und diese mit den hintern Streben verbindet. Ist dieses geschehn, so befestigt man ein starkes Tau am Kopfe der Ramme, zieht dieses über die hintere Schwelle und legt es um eine Winde oder läfst es mittelst eines Flaschenzuges scharf anziehn. Indem man den Kopf der Ramme Anfangs durch unmittelbares Anfassen etwas anhebt, so wird bald eine solche Stellung erreicht, wobei der Zug an jenem Tau schon minder stark sein darf, und schliefslich wird es sogar nöthig, noch ein zweites Tau vom Kopfe der Ramme um einen Pfahl rückwärts zu befestigen (das Stopftau), womit man die Ramme zurückhält und verhindert, dafs sie nicht zu heftig sich auf die Verschwellung stellt. Beim Niederlegen der Ramme ist das Verfahren dasselbe, doch wird dabei das erste Tau, Stopftau, und das zweite mufs zunächst mit der Winde, oder aus freier Hand angezogen werden.

Fig. 165 stellt die sogenannte Winkelramme dar, welche

sich nur durch eine andere Anordnung der Verschwellung von der vorigen unterscheidet, aber sonst mit ihr übereinstimmt. Sie dient dazu, um in den Ecken der Baustelle, die vielleicht wegen der Fangedämme oder aus anderm Grunde für die erste Ramme unzugänglich sind, Pfähle einzuschlagen.

Fig. 166 ist die Ramme, die Perronet benutzte und die nahe mit denen übereinkommt, die man auch heut zu Tage in Frankreich anwendet. Sie hat nur eine hintere Strebe und sonach trifft die Winde, die zum Setzen der Pfähle dient, gerade in den Raum, wo die Arbeiter stehn, und diese müssen sich daher zu beiden Seiten gleichmäfsig vertheilen. Die Verbindung der ganzen Rüstung erhält durch Zangen und Schraubenbolzen eine grofse Steifigkeit, doch tritt dabei der Uebelstand ein, dafs die Zange über der Winde gerade in die Richtung des Taues trifft, mittelst dessen die Pfähle gehoben werden. Das Rammtau selbst berührt die Zange aber nicht, indem die Zugleinen schon oberhalb abgehn. Bei vielen französischen Rammen fehlt indessen diese Zange und sie ist nur deshalb hier angegeben, um die von Perronet benutzte Anordnung vollständig darzustellen. Der wichtigste Theil ist die Schere, in welcher der Klotz vor der vordern Wand spielt. Sie ist hier zwar fest und sonach entbehrt sie des Vorzuges, dafs die Richtung des Schlages leicht verändert werden kann, aber sie gewährt dennoch den Vortheil, dafs man den Klotz bis unter die Verschwellung der Ramme kann spielen lassen, und dieses ist besonders beim Einrammen von Grundpfählen sehr wichtig, da es unbequem ist, die Ramme gar zu tief zu stellen. Ferner ist die Gröfse der Scheibe zu beachten, die 3½ Fufs im Durchmesser hält, doch ist sie nicht vor, sondern hinter der vordern Wand der Ramme befestigt. Um die Schere deutlich darzustellen, war es nöthig, sie etwas weiter von der vordern Wand zu entfernen. Ihr Abstand beträgt in der Wirklichkeit nur 1 Fufs, wodurch auch die Scheibe eine andere Lage erhält, als in der Zeichnung angegeben ist.

Fig. 167 zeigt ferner die sogenannte Stützenramme oder Schwanzramme, die in den Ostseehäfen üblich ist, und sich theils durch die Bequemlichkeit der Aufstellung und des Transportes, und theils auch dadurch vortheilhaft auszeichnet, dafs man mit ihr in jeder beliebigen Neigung Pfähle einrammen kann. Sie

besteht, wie die Figur zeigt, nur aus der vordern verschwellten Wand und der Stütze oder dem Schwanze, während ein oder zwei Taue, die sogenannten Kopftaue, die jedoch nur bei einem beinahe senkrechten Stande erforderlich sind, sie zurückhalten, damit sie nicht vorn überschlägt. Die Windevorrichtung fehlt ihr, dagegen ist am obern Ende der Stütze ein Haken befestigt, woran man einen Flaschenzug hängen kann, und mittelst dieses hebt die zahlreiche Mannschaft noch schneller den Pfahl, als mit der Winde. Will man die Ramme richten, so legt man die Läuferruthe nebst den Streben mit ihrem obern Ende auf einen gewöhnlichen Rüstbock und befestigt die Verbandstücke der vordern Wand unter sich und gegen die Schwelle. Alsdann setzt man die Stütze ein und verbindet mit dem Fuſse derselben den einen Block eines Flaschenzuges, während der andere an den Fuſs der Läuferruthe befestigt wird. Sobald man das in beide eingeschorne Tau anzieht, so richtet sich die Ramme von selbst auf. Das Versetzen oder Verfahren dieser Ramme ist aber insofern überaus leicht, als die Stütze einigen Spielraum in der Läuferruthe hat und man daher zuerst die Schwelle mit Brechstangen um einige Fuſs fortschieben und sodann die Stütze an dem daran gebundenen Hebel weiter rücken kann. Eine Ramme dieser Art, die ich zur Kunstramme eingerichtet hatte und die 40 Fuſs hoch war, wurde durch sechs Arbeiter ohne Mühe verfahren. Die gewöhnliche Ansicht, daſs man zum Versetzen groſser Rammen 20 bis 30 Mann nöthig habe, gilt keineswegs für diese Einrichtung. Daſs die Ramme minder fest steht, als andere, welche an sich viel schwerer sind und überdies noch durch die ganze Mannschaft belastet werden, ist nicht zu leugnen, doch ist ihre Beweglichkeit nicht störend und man kann durch passende Anordnung der Ueberwürfe, womit die Ruthe und die Streben gegen die Schwelle befestigt werden, die Schwankungen vollständig aufheben. Fig. 169 zeigt einen solchen Ueberwurf in der Ansicht von zwei Seiten, wobei der eingetriebene keilförmige Pflock beide Verbandstücke fest zusammendrängt, was beim gewöhnlichen Ueberwurfe nicht geschieht. Es ist hierbei aber nothwendig, alle Haken und Krammen recht stark zu machen und mit Widerhaken zu versehn, damit sie nicht aus dem Holze herausgerissen werden. Endlich wäre noch darauf aufmerksam zu machen, daſs die Schwelle nicht mit ihrer ganzen Grundfläche,

sondern nur mit drei niedrigen Füfsen unter der Läuferruthe und unter den beiden Streben aufstehn darf, weil man sonst nicht mit Brechstangen darunter fassen kann.

Es darf kaum erwähnt werden, dafs man auch feste Rammen so einrichten kann, dafs die Läuferruthen schräge stehn, dieses geschieht jedoch nur, wenn eine grofse Anzahl Pfähle unter einer bestimmten Neigung eingerammt werden soll. Beim Bau der Anfahrtsdämme der Traject-Anstalt bei Lauenburg hatte man diese Einrichtung getroffen.

Beim Einrammen von Schräg-Pfählen verbietet es sich zuweilen, die Läuferruthe an diejenige Seite des Pfahles zu bringen, wohin derselbe übergeneigt ist. Dieses geschieht zum Beispiel bei der Verstärkung von Duc d'Alben, indem man an dieselben auswärts neue Pfähle stellt, die nach der Mitte hin geneigt sein sollen. Auf dem Eise läfst sich dieses besonders bequem ausführen, und man könnte zwar die Stützen-Ramme, indem die Stütze verlängert wird, so schräge stellen, dafs sie sich unter dem beabsichtigten Winkel nach vorn überneigt. Eine sorgfältige Verstrebung der Stütze gegen die Schwelle, wie auch die Anbringung starker Kopftaue wäre alsdann aber nothwendig. Es ist jedoch bequemer, die Ramme so über den Duc d'Albe zu stellen, dafs die Schwelle aufserhalb des zu setzenden Pfahles liegt. Man hängt dabei den Klotz verkehrt ein, so dafs er auf der untern oder der innern Seite der Läuferruthe spielt und die Arbeiter sich aufserhalb der vordern Wand der Ramme befinden. Die Wirksamkeit wird dabei freilich durch den schrägen Zug an den Zugleinen merklich geschwächt, aber ein wesentlicher Vortheil liegt darin, dafs man in solchem seltenen Falle noch mittelst der gewöhnlichen Apparate den Zweck überhaupt erreicht. Es ist hierbei jedoch nöthig, zur Verminderung der Reibung zwischen die Läuferruthe und die Riegel an den Armen ein dünnes Brett einzuziehn, das so lang wie der Klotz ist. Ich habe diese Anordnung vielfach benutzt und bequem gefunden.

Sehr einfach ist die Ramme, die in Holland vorzugsweise, und selbst bei den gröfsten Bauten angewendet wird. Fig. 168 zeigt eine solche. Sie hat gar keine Verschwellung und die drei Bäume, welche die Rüstung bilden, sind unten mit eisernen Dornen versehn, wie Fig. 171 einen solchen in gröfserem Maafsstabe dar-

stellt, oben sind sie durch einen Bolzen, den Fig. 170 zeigt, mit einander verbunden. Dieser Bolzen ist mit einem Charnier in der Mitte versehn, daneben hat er auf jeder Seite einen Ansatz, woran die Unterlagsscheibe sich lehnt, und an beiden Enden sind Schraubengewinde eingeschnitten, auf welche Muttern passen. Auf der linken Seite des Bolzen (nach der Zeichnung) werden die beiden Bäume in der vordern Wand der Ramme, und auf der rechten Seite derjenige Baum, der die Stelle der Stütze versieht, aufgeschoben und mit den Schraubenmuttern befestigt. Es ergiebt sich hieraus, dafs die drei Bäume leicht beweglich sind und man sie willkührlich weit auseinander stellen kann. Mit ihren Füfsen stehn sie gewöhnlich nicht unmittelbar auf dem Boden, weil sie darin zu tief versinken würden, vielmehr werden, wie die Figur zeigt, Bohlen untergelegt, und auf diese oft noch andere Dielen, worauf die Arbeiter stehn. An das obere Ende dieses Bockes ist mittelst einer Kette oder eines Taues eine hölzerne oder auch eine eiserne Scheibe von 18 Zoll Durchmesser in gehöriger Fassung angehängt. Der Rammklotz spielt zwischen den dünnen Ruthen der Schere, die oben durch zwei eingeschrobene eiserne Bügel gehalten werden und die man unten unmittelbar auf den Boden oder auf untergelegte Brettstücke stellt. Mit der richtigen Stellung der Schere ist jederzeit ein Zimmergeselle ausschliefslich beschäftigt, er verschiebt sie nicht nur in den Pausen, sondern auch während der Arbeit, sobald es ihm nöthig scheint, den Schlag des Klotzes mehr nach der einen oder nach der andern Seite zu führen, und zuweilen hält er sogar die Schere längere Zeit hindurch mit den Händen, um jeden einzelnen Schlag auf die angemessene Stelle zu richten. Wenn diese Ramme zum senkrechten Einschlagen von Pfählen benutzt wird, wie gemeinhin der Fall ist, so mufs sie durch ein Kopftau noch besonders gehalten werden, das neben der Stütze angebracht wird und welches das Umfallen der Rüstung, sowie auch das Verschieben derselben verhindert.

Viele Rammen, die man in Holland sieht, sind indessen noch einfacher, als diese, indem ihnen sogar die Stütze fehlt. Sie bestehn nur aus den beiden Bäumen, welche die vordere Wand bilden, und aus der Schere. Solche Rammen bedürfen indessen nicht nur desjenigen Kopftaues, welches Fig. 168 zeigt, sondern aufser diesem noch eines zweiten, welches nach vorn herabgeführt ist. Dabei darf nicht unbemerkt bleiben, dafs man in den Niederlanden, obwohl da-

selbst fast jeder gröfsere Bau auf einen Pfahlrost gestellt werden mufs, dennoch solche schwerfällige Zugrammen, wie bei uns, niemals sieht.

Die in England üblichen Zugrammen haben eine Rüstung, welche mit derjenigen der Kunstramme, die Fig. 195 auf Taf. XV dargestellt ist, ungefähr übereinstimmt. Sie unterscheidet sich jedoch von dieser theils dadurch, dafs ihr die Schere fehlt, und theils durch die kleinere Verschwellung. Man sieht zuweilen solche Rammen, die 40 Fufs hoch sind, deren Rammstube aber nur 8 Fufs im Gevierten hält. Aus diesem Grunde wird jederzeit ein Kopftau nach hinten ausgebracht, und oft befinden sich auch zwei solche seitwärts. Auf der vorderen Schwelle stehn die beiden Läuferruthen etwa im Abstande von 6 Zoll. Dieselben sind oben durch einen Riegel mit einander verbunden, und häufig noch durch einen zweiten nahe unter der Rammscheibe. Aufserdem erheben sich von der Schwelle zwei Streben, die jedoch gemeinhin die Läuferruthen nur etwa in ihrer halben Höhe fassen. Eine zweite kürzere Schwelle liegt am hintern Ende der Rammstube, und beide Schwellen werden durch zwei Querschwellen mit einander verbunden, die jedoch durch Ueberblattung vollständig in die ersten eingelassen sind. Von der hintern Schwelle gehn zwei Streben nach den zwei kurzen Riegeln, die an den Riegel über den Läuferruthen befestigt sind, wie die Figur zeigt. Zwischen diesen Riegeln befindet sich die eiserne Rammscheibe, und zwischen den hintern Streben sind Sprossen eingezogen, auf welchen man zur Scheibe steigen kann. Häufig, und besonders wenn die Ramme eine gröfsere Höhe hat, sind die vorderen und hinteren Streben noch durch horizontale Riegel verbunden, oder solche verbinden die hintern Streben mit den Läuferruthen. Die sämmtlichen Verbandstücke bestehn nur aus schwachem Kreuzholz, doch sind sie sämmtlich durch genau schliefsende eiserne Bänder und durch Schraubenbolzen verbunden, und die ganze Rüstung wird sorgfältig im Oelanstrich unterhalten. Die äufsern Flächen der Läuferruthen, neben denen der gufseiserne Rammklotz sich bewegt, sind mit Eisenschienen bekleidet.

Die in Frankreich üblichen Rammen schliefsen sich ungefähr den von Perronet benutzten an, doch stehn die Läuferruthen oft so nahe neben einander, dafs der Klotz nicht dazwischen hängt, sondern mit seinen beiden Armen hindurchgreift, wie Fig. 162 angiebt.

Hier wäre nur zu bemerken, dafs man zuweilen auch Rammen mit zwei Scheiben und zwei Rammtauen sieht. Letztere steigen dicht neben einander vom Klotze zu den beiden Scheiben auf, die sich also nahe berühren müssen, diese sind aber nicht parallel, sondern unter einem rechten Winkel gegen einander gerichtet, und werden von besondern Rahmen getragen. Die beiden Rammtaue entfernen sich bei dieser Anordnung von einander, und dadurch wird es möglich, die Zugleinen weniger schräge herabzuführen. Da jedoch die Entfernung der herabgehenden Rammtaue, wenn die Scheiben auch 4 Fufs im Durchmesser halten, noch nicht 6 Fufs beträgt, also jedes Tau sich nur 3 Fufs von derjenigen Richtung entfernt, die das einfache Tau haben würde, so ist der hierdurch erreichte Vortheil in Betreff des mehr senkrecht gerichteten Zuges nicht von Bedeutung.

Endlich wäre noch einer Ramme zu erwähnen, die sich von allen übrigen dadurch unterscheidet, dafs sie in bedeutendem Abstande von ihrer Verschwellung die Pfähle setzt und eintreibt. Beim Bau der Hafendämme in Stolpmünde kam es darauf an, in der Richtung dieser Dämme Rüstungen frei in die See hinauszuführen, von welchen aus die weiteren Ramm- und sonstigen Arbeiten bewirkt werden könnten. Es sollten nämlich im Abstande von 8 Fufs Joche hergestellt werden, deren jedes zunächst aus drei Pfählen bestand. Indem die See aber selten so ruhig ist, dafs die Rammarbeit vom Prahne aus erfolgen kann, und beim Beginne des Baues, mitten im Winter, dieses am wenigsten erwartet werden konnte, so mufste man eine Ramme benutzen, deren Läufer so weit vortrat, dafs man von der Rüstung auf den bereits fertigen Jochen aus, die Pfähle des neuen Joches setzen konnte. Die zu diesem Zwecke construirte Ramme, die auf Fig. 214 auf Taf. XVI perspectivisch dargestellt ist, erfüllte diese Aufgabe vollständig, und wurde unausgesetzt benutzt, wiewohl ihre Leistung noch dadurch erschwert wurde, dafs bei der Ausführung ein Abstand der Joche von 9 Fufs gewählt war. Die Figur giebt die ganze Zusammensetzung der Maschine so speciell an, dafs eine nähere Erklärung entbehrlich ist. Die Benutzung zweier Rammscheiben, wodurch unbedingt die Reibung vergröfsert wird, liefs sich nicht vermeiden, doch war dieser Uebelstand nur geringe im Vergleich zu dem wesentlichen Vortheil, dafs die Arbeit beinahe ganz unabhängig von Wind und Wetter ausgeführt werden konnte. Auf der Laufbrücke wurden die vorbereiteten Pfähle

beigeschafft, und mit der Ramme gesetzt und eingeschlagen. Von den beiden weit vortretenden Schwellen aus liefs sich auch leicht eine Bohle hochkantig an die neugestellten Pfähle nageln, und hierüber eine Rüstung legen, um die Pfähle abzuschneiden, mit Blattzapfen zu versehn und den Holm aufzubringen, worauf das folgende Joch in Angriff genommen werden konnte. Nur an sehr wenigen Tagen, wenn die Wellen bis zum Bohlenbelage anstiegen, mufste die Arbeit unterbrochen werden. Der Baumeister Leiter, der die Aufsicht über diesen Bau führte, hatte diese Ramme, die Pionir-Ramme genannt wurde, construirt.

Nächst der Rüstung verdient der Rammklotz oder der Bär eine nähere Beschreibung. Derselbe besteht aus Holz oder aus Gufseisen. Sein Gewicht beträgt nach Maafsgabe des Widerstandes, den die Pfähle dem Eindringen entgegensetzen, 6 bis 12 Centner, doch werden beide Grenzen zuweilen überschritten. Der hölzerne Rammklotz besteht aus einem gesunden und starken Stücke, gewöhnlich dem Stammende einer Eiche. Bei den harten Stöfsen, denen er ausgesetzt ist, so wie der dauernden Einwirkung der Witterung, wobei er bald nafs, und bald durch Sonne und Wind wieder trocken wird, ist die Wahl eines besonders kräftigen und fehlerfreien Holzes unbedingtes Erfordernifs. Ist man in dieser Beziehung nicht vorsichtig gewesen, so pflegt der Klotz bald zu reifsen, zu splittern, auch wohl zu spalten und sich stumpf zu schlagen, das heifst die untern Enden der Holzfasern legen sich um, wodurch eine weiche Grundfläche entsteht, die jeden kräftigen Schlag mildert und seine Wirkung schwächt. Es kann indessen selbst das festete Holz der Erschütterung nicht lange widerstehn, die es bei diesem immer wiederholten Aufstofsen erfährt, wenn man es nicht durch starke eiserne Ringe zusammenhält. Damit der Ring es aber fest umschliefst, ist es nothwendig, dafs das Holz schon vorher ziemlich ausgetrocknet war. Gewöhnlich wird der Rammklotz prismatisch und zwar mit quadratischem Querschnitte bearbeitet. Oben und unten schneidet man entweder ringsumher oder wenigstens an der Seite, welche sich gegen die Läuferruthe lehnt, Falze von $\frac{1}{2}$ Zoll Tiefe ein, weil der Beschlag daselbst nicht vorstehn darf, und in diese Falze treibt man die eisernen Ringe. Jeder derselben wird zum Theil durch Nägel befestigt, hauptsächlich geschieht dieses aber durch vier eiserne Schienen, die man in die Mitte der Seiten ein-

läſst und die mit ihren umgebogenen Rändern den Ring halten. Sie werden, nachdem der Ring aufgetrieben ist, unter demselben in die schon früher eingeschnittenen vertieften Rinnen eingeschoben und gleichfalls durch Nägel oder auch wohl durch Krammen befestigt, doch müssen im letzten Falle die Schienen auch am obern Ende einen umgebogenen Rand erhalten und lassen sich alsdann nur mit dem Ringe zugleich einbringen. Fig. 172 zeigt diese Anordnung sowohl in der Seitenansicht des Klotzes, als auch im Längendurchschnitte. Es tritt hierbei indessen der groſse Uebelstand ein, daſs die Ringe durch die Schienen und Nägel wohl am Herabfallen gehindert werden, ihnen dadurch aber keineswegs der feste Schluſs gesichert wird, sie daher beim Eintrocknen des Holzes lose werden und der Klotz Risse bekommt, sich stumpf schlägt und oft sogar in mehrere Stücke zerfällt. Will man dieses verhindern, so müssen die Ringe, welche durch die starken Stöſse während des Gebrauches der Ramme immer abwärts getrieben werden, sich eben dadurch von selbst wieder festsetzen, wenn sie auch durch das Trocknen und Schwinden des Holzes lose geworden sein sollten. Zu diesem Zwecke darf der Klotz keine prismatische, sondern muſs vielmehr eine pyramidale Form erhalten, indem er nach oben und zwar in beiden Richtungen sich verjüngt. Sowohl die untere, als die obere Fläche desselben wird gegen diejenige Seite, die sich an die Läuferruthe lehnt, senkrecht abgeschnitten, und damit die Ringe, von denen man bei gröſseren Klötzen sogar drei auftreiben kann, gehörig gespannt werden können, so müssen sie hinreichende Breite und Stärke erhalten, besonders gilt dieses aber von dem unteren, der wenigstens $\frac{1}{2}$ Zoll stark und 2 Zoll breit werden muſs. Alle Ringe werden von oben aufgetrieben, und damit sie sämmtlich, wie auch der unterste sich noch senken können, so darf dieser dem untern Ende des Klotzes nicht zu nahe liegen, sondern muſs Anfangs noch 6 Zoll davon entfernt bleiben. Alle Ringe stehn alsdann vor den Seitenflächen des Klotzes weit vor und würden die Läuferruthe stark beschädigen, wenn man sie nicht davon gehörig entfernt halten könnte. Dieses geschieht dadurch, daſs man ein dünnes Brett von Eichenholz darüber nagelt, welches an den Stellen. wo es die eisernen Ringe trifft, passend ausgeschnitten ist. Man erreicht dadurch noch den Vortheil, daſs man dieses Brettchen glatt behobeln und so auswählen kann, daſs es recht gerade Fasern hat, wodurch die Rei-

bung gegen die Läuferruthe geringer wird, als wenn der Rammklotz sich unmittelbar dagegen lehnte. Fig. 173 *a* und *b* zeigt die beschriebene Anordnung. Ich habe einen Klotz dieser Art einige Jahre hindurch bei einer Kunstramme benutzt, und er wurde, trotz der viel stärkeren Erschütterungen, die er erlitt, dennoch weit weniger beschädigt, als die auf gewöhnliche Art beschlagenen Rammklötze der Zugrammen, doch auch bei den letzten zeigte sich dieser veränderte Beschlag in gleichem Maafse vortheilhaft, indem dadurch die vielfachen Reparaturen aufhörten, die früher immer erhebliche Kosten verursacht und häufig den Betrieb der Arbeit unterbrochen hatten. Es mufs aber noch bemerkt werden, dafs die Ringe heifs aufgetrieben werden müssen.

Die Verbindung der Arme mit dem Rammklotze ist demnächst sehr wichtig. Häufig versieht man die Arme nur mit gewöhnlichen prismatischen Zapfen, die bedeutend schwächer als sie selbst sind, und setzt diese in Zapfenlöcher ein, worin sie verbohrt und mit hölzernen Nägeln befestigt werden. Zuweilen giebt man ihnen schwalbenschwanzförmige Zapfen, wie Fig. 174 auf Taf. XIV zeigt, die durch Keile von unten festgestellt, auch wohl mit hölzernen Nägeln gehalten werden. Diese Verbindungen sind indessen nicht passend, denn es ist kein Grund vorhanden, die Ausarbeitung eines weiten Zapfenloches im Klotze zu vermeiden, da eine Schwächung desselben doch nicht eintritt. Diese Arme stehn aber seitwärts vor dem Klotze vor und jeder Stofs trifft sie eben so, wie den Klotz selbst, ein Abbrechen des Zapfens ist also leicht möglich, wenn derselbe in der Verbindung mit dem Arme geschwächt wird. Dazu kommt noch, dafs die Nässe sich in das Zapfenloch hineinzieht, woher man beim Ausnehmen eines Armes immer bemerkt, wie derselbe besonders an der Stelle, wo er die Seitenfläche des Klotzes trifft, angefault und verrottet ist, während er in dem vorstehenden Theile noch frisches Holz hat. Gerade da, wo der Stofs am leichtesten den Bruch bewirken kann, ist auch der Einflufs der Witterung am nachtheiligsten. Hiernach ist es nicht zu billigen, wenn man an eben dieser Stelle den Querschnitt schwächt. Die in der Figur dargestellte Befestigungsart mit dem schwalbenschwanzförmigen Zapfen und dem eingetriebenen Keile ist aber auch an sich nicht angemessen, da eine solche Verbindung theils durch das Eintrocknen des Holzes, und theils durch die heftigen Stöfse sich bald löst, so

dafs der Keil herausfällt, während die hölzernen Nägel auch in Kurzem brechen, wenn sie allein den Arm halten sollen. Das Abbrechen der Arme mufs aber mit der gröfsten Vorsicht vermieden werden, weil sie alsdann vielleicht aus grofser Höhe auf die Arbeiter fallen und diese beschädigen würden. Am sichersten ist es, den Arm in seiner ganzen Höhe und Stärke in den Klotz eintreten zu lassen und ihn durch einen horizontal durchgesteckten eisernen Bolzen von ½ Zoll Durchmesser, der die ganze Breite des Klotzes zur Länge hat, zu befestigen, wie Fig. 173 auf Taf. XIII zeigt. Der Bolzen wird durch die Stöfse, die ihn von unten treffen, nicht verschoben, wenn er nur einigermaafsen im Bohrloche festsitzt und sich nicht gar zu willig aus- und eintreiben läfst. Hat der Klotz vier Arme, so wird ein Bolzen immer je zwei derselben festhalten, und bei acht Armen oder bei einer Scher-Ramme genügen gleichfalls zwei Bolzen, doch können sie im letzten Falle auch ganz fehlen und durch hölzerne Nägel ersetzt werden, indem je zwei Arme aus einem hindurchreichenden Stücke Holz bestehn.

Werden die Arme an ihrem hintern Ende noch mit Riegeln versehn, so erhalten sie zu diesem Zwecke quadratische Oeffnungen von 2 bis 2½ Zoll Weite und Höhe. Der Riegel hat an der einen Seite einen seitwärts vortretenden Kopf, damit er sich nicht ganz hindurchschieben kann, und auf der andern Seite wird er am besten durch einen vorgeschlagenen gewöhnlichen eisernen Nagel gehalten. Man wählt statt des letztern zuweilen auch einen kleinen Vorsteckbolzen, der aber leicht ausspringt, wodurch der Riegel gelöst wird und herabfällt. Jedenfalls wird der Riegel aber nicht fest angetrieben, sondern nur lose eingesteckt, und sonach sind die eisernen Ringe, die man auf die Arme aufzuschlagen pflegt, entbehrlich. Ueberhaupt mufs man sich hüten, am Rammklotze und an den Armen desselben viele Beschläge anzubringen, denn durch die heftigen Stöfse werden sie doch bald gelöst und sie nützen alsdann nicht nur nichts, sondern veranlassen beim Herabfallen auch Gefahr für die Arbeiter.

Die Oese, woran das Tau befestigt wird, kann entweder unmittelbar an den Klotz angeschnitten werden, wie dieses in Holland zu geschehn pflegt. Aus Figur 168 ergiebt sich diese Anordnung, und dieselbe empfiehlt sich dadurch, dafs das Tau weniger leidet, indem es kein Eisen berührt, auch nicht so scharf gekrümmt ist,

doch läfst sich dieses auch bei eisernen Krammen vermeiden. Die Kramme verursacht weniger Kosten, als die hölzerne Oese, insofern sie unvergänglich ist, und von einem Klotze, sobald er zerschlagen oder verfault ist, auf einen andern übertragen werden kann, die hölzerne Oese ist aber nicht nur wegen der Arbeit kostbar, sondern bedingt auch für das zum Rammklotze zu wählende Holzstück schon eine etwas gröfsere Länge. Endlich aber gewährt die Kramme noch den Vortheil, dafs man mit grofser Sicherheit, nachdem der Klotz vollständig bearbeitet, beschlagen und mit den Armen versehn ist, ihre Stelle genau über dem Schwerpunkte aussuchen und dadurch das Spiel der Ramme erleichtern kann. Fig. 175 zeigt eine eiserne Kramme in der Seitenansicht. Sie mufs mindestens 1 Zoll und bei schweren Rammen bis 1¼ Zoll im Durchmesser halten und eine Länge von 9 bis 12 Zoll haben. Die beiden Spitzen, womit sie eingetrieben wird, sind mit Widerhaken versehn und genau parallel zu einander gerichtet. Wenn sie auf solche Art ausgeschmiedet ist und nach gehörigem Vorbohren der Löcher kalt eingeschlagen wird, so darf man nicht befürchten, dafs sie herausgerissen oder zerbrochen werden möchte, sie bleibt vielmehr, so lange man den Klotz brauchen kann, fest darin stecken und leidet in keiner Beziehung. Wenn aber endlich der Klotz zerschlagen wird, so kann sie unmittelbar und ohne alle Reparatur wieder bei einem andern Klotze gebraucht werden.

Gufseiserne Rammklötze werden bei Kunst- und Dampframmen gewöhnlich angewendet, aber auch bei Zugrammen werden sie in neuerer Zeit vielfach benutzt. Ihr Vorzug vor den hölzernen besteht darin, dafs sie an sich keine Unterhaltungskosten erfordern und in der That unverwüstlich sind. Man darf sie aber nicht unmittelbar an hölzernen Läuferruthen sich bewegen lassen, weil sie diese stark angreifen, es ist daher nöthig entweder die Ruthen mit Eisen zu beschlagen, oder den Klotz an der reibenden Fläche mit Holz zu verkleiden. Sodann ist auch die Befestigung der Arme schwieriger und weniger sicher, und überdiefs tritt bei ihnen noch der Uebelstand ein, dafs die Pfähle stark angegriffen werden und leicht zersplittern oder spalten, woher man auf die Köpfe derselben eiserne Ringe aufzutreiben pflegt. Der letzte Uebelstand vermindert sich einigermaafsen dadurch, dafs man dem Klotze keine convexe Grundfläche giebt, wie oft geschieht, sondern eine ebene, und noch

besser ist es, sie etwas concav zu machen. Zum Befestigen der Arme werden die Oeffnungen für diese gleich beim Gusse dargestellt, man mufs aber dafür sorgen, dafs sie hinreichend weit sind, weil schwache Arme bei dem dauernden Aufstofsen auf die Eisenmasse leichter abbrechen, als bei hölzernen Rammklötzen. Die Befestigung der Arme ist sehr verschieden, erfordert jedoch immer grofse Vorsicht, damit kein Theil derselben sich lösen und herabfallen kann. Wenn der Klotz neben der Läuferruthe verkleidet werden soll, so giebt man dem vortretenden Theile des Armes eine etwas gröfsere Stärke, als diese Oeffnung hat, so dafs er, wie Fig. 176 zeigt, mit den vortretenden Rändern zugleich das Brettchen hält, welches die unmittelbare Berührung des Klotzes und der Läuferruthe verhindert. Keilförmige Splinte auf der andern Seite dienen zur Befestigung der Arme. Dieselbe Figur zeigt die gewöhnliche Oese, zuweilen benutzt man aber auch hier eine Kramme oder einen Bügel aus Schmiedeeisen, der in die Gufsform gesetzt und gleich angegossen wird.

Ein andrer wichtiger Theil der Zugramme ist die Scheibe, worüber das Rammtau geführt wird. Hauptbedingung für dieselbe ist es, dafs sie das Tau in solcher Richtung fafst, dafs es parallel zur Läuferruthe gespannt wird. Die Scheibe mufs also eben so weit vor die Läuferruthe vortreten, wie der Aufhängungspunkt des Klotzes, oder nach der obigen Bedingung wie der Schwerpunkt desselben, und aufserdem mufs sie auch in die Ebene fallen, welche die Mittellinie der Läuferruthe schneidet. Diese Bedingungen zeigen sich besonders in dem Falle als nothwendig, wenn der Klotz bis nahe an die Scheibe gehoben werden soll, was beim jedesmaligen Setzen eines Pfahles der Fall zu sein pflegt. Demnächst darf die Scheibe nicht einen gar zu kleinen Durchmesser erhalten. Es geschieht nicht selten, dafs dieser nur 8 bis 9 Zoll mifst, doch geht alsdann nicht nur ein grofser Theil der Kraft in der Ueberwindung der Steifigkeit des Seiles verloren, sondern aufserdem wird die Reibung an der Achse auch sehr grofs, was hier um so mehr zu berücksichtigen ist, als gemeinhin die Scheibe sich nicht mit der Achse, sondern vielmehr um dieselbe dreht, wodurch eine weniger regelmäfsige Bewegung und ein stärkeres Schleifen und Klemmen entsteht. Bis zu welchem Grade die Reibung auf diese Art anwachsen kann, läfst sich nicht sicher nachweisen, doch ist ihre Zunahme

jedenfalls viel gröfser, als man nach der Verschiedenheit der Halbmesser der Scheiben erwarten sollte. Was den Einflufs der Steifigkeit des Taues betrifft, so läfst sich dieser mit Zugrundelegung der gewöhnlichen Annahme für Scheiben von verschiedener Gröfse und für ein bestimmtes Gewicht des Rammklotzes leicht finden. Der Klotz mag 12 Centner wiegen und das Tau $1\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser halten, alsdann wird die Reibung, oder der nöthige Ueberschufs der Kraft über die Last,

wenn die Scheibe	9	Zoll mifst	 165	Pfund
- - -	12	- -	 121	-
- - -	18	- -	 82	-
- - -	24	- -	 62	-
- - -	30	- -	 49	-
- - -	36	- -	 41	-

Man kann also nach diesem Beispiele in Beziehung auf die Steifigkeit des Seiles die nöthige Kraft schon um 100 Pfund vermindern, sobald man die Scheibe von 9 auf 24 Zoll vergröfsert. In Betreff der Reibung wird der Vortheil aber noch gröfser. In England hat man die Erfahrung gemacht, dafs der fünfte Theil der Mannschaft entbehrlich wurde, sobald man statt der dort üblichen Scheiben von 10 Zoll Durchmesser, 4 Fufs hohe Scheiben benutzte, die aber auch noch insofern eine Vervollkommnung erfahren hatten, als die Achse in der Scheibe befestigt war und in Pfannen lief.

Das Material, woraus die Scheibe gewöhnlich besteht, ist Holz, doch wählt man dazu solche Arten, die nicht nur hart sind, sondern sich auch recht glatt reiben, und wo sie über den Spahn geschnitten sind, keine grofse Schärfe zeigen. Aus diesem Grunde ist Eichenholz hierzu nicht passend, dagegen wird Weifsbuchen-, auch Birken- und bei kleineren Scheiben das sehr feste und dauerhafte Guajak- oder Pockholz besonders benutzt. Man dreht die Scheiben, wenn sie klein sind, aus vollem Holze aus, und selbst gröfsere werden zuweilen aus mehreren Bohlenstücken so zusammengesetzt, dafs die Holzfasern durchweg parallel liegen. Fig. 177 zeigt eine Scheibe dieser Art von 2 Fufs Durchmesser, die bei den Rammarbeiten am Ems-Canale in der Gegend von Lingen angewendet wurde. Die drei Bohlenstücke waren darin theils durch Federn und Nuthen und theils durch vier eingeschobene und verbohrte hölzerne Döbel, aufserdem aber noch an jeder Seite durch fünf eiserne

besser ist es, sie etwas concav zu machen. Zum Befestigen der Arme werden die Oeffnungen für diese gleich beim Gusse dargestellt, man mufs aber dafür sorgen, dafs sie hinreichend weit sind, weil schwache Arme bei dem dauernden Aufstofsen auf die Eisenmasse leichter abbrechen, als bei hölzernen Rammklötzen. Die Befestigung der Arme ist sehr verschieden, erfordert jedoch immer grofse Vorsicht, damit kein Theil derselben sich lösen und herabfallen kann. Wenn der Klotz neben der Läuferruthe verkleidet werden soll, so giebt man dem vortretenden Theile des Armes eine etwas gröfsere Stärke, als diese Oeffnung hat, so dafs er, wie Fig. 176 zeigt, mit den vortretenden Rändern zugleich das Brettchen hält, welches die unmittelbare Berührung des Klotzes und der Läuferruthe verhindert. Keilförmige Splinte auf der andern Seite dienen zur Befestigung der Arme. Dieselbe Figur zeigt die gewöhnliche Oese, zuweilen benutzt man aber auch hier eine Kramme oder einen Bügel aus Schmiedeeisen, der in die Gufsform gesetzt und gleich angegossen wird.

Ein andrer wichtiger Theil der Zugramme ist die Scheibe, worüber das Rammtau geführt wird. Hauptbedingung für dieselbe ist es, dafs sie das Tau in solcher Richtung fafst, dafs es parallel zur Läuferruthe gespannt wird. Die Scheibe mufs also eben so weit vor die Läuferruthe vortreten, wie der Aufhängungspunkt des Klotzes, oder nach der obigen Bedingung wie der Schwerpunkt desselben, und aufserdem mufs sie auch in die Ebene fallen, welche die Mittellinie der Läuferruthe schneidet. Diese Bedingungen zeigen sich besonders in dem Falle als nothwendig, wenn der Klotz bis nahe an die Scheibe gehoben werden soll, was beim jedesmaligen Setzen eines Pfahles der Fall zu sein pflegt. Demnächst darf die Scheibe nicht einen gar zu kleinen Durchmesser erhalten. Es geschieht nicht selten, dafs dieser nur 8 bis 9 Zoll mifst, doch geht alsdann nicht nur ein grofser Theil der Kraft in der Ueberwindung der Steifigkeit des Seiles verloren, sondern aufserdem wird die Reibung an der Achse auch sehr grofs, was hier um so mehr zu berücksichtigen ist, als gemeinhin die Scheibe sich nicht mit der Achse, sondern vielmehr um dieselbe dreht, wodurch eine weniger regelmäfsige Bewegung und ein stärkeres Schleifen und Klemmen entsteht. Bis zu welchem Grade die Reibung auf diese Art anwachsen kann, läfst sich nicht sicher nachweisen, doch ist ihre Zunahme

jedenfalls viel gröfser, als man nach der Verschiedenheit der Halbmesser der Scheiben erwarten sollte. Was den Einflufs der Steifigkeit des Taues betrifft, so läfst sich dieser mit Zugrundelegung der gewöhnlichen Annahme für Scheiben von verschiedener Gröfse und für ein bestimmtes Gewicht des Rammklotzes leicht finden. Der Klotz mag 12 Centner wiegen und das Tau $1\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser halten, alsdann wird die Reibung, oder der nöthige Ueberschufs der Kraft über die Last,

wenn die Scheibe	9 Zoll mifst	165 Pfund
- - -	12 - -	121 -
- - -	18 - -	82 -
- - -	24 - -	62 -
- - -	30 - -	49 -
- - -	36 - -	41 -

Man kann also nach diesem Beispiele in Beziehung auf die Steifigkeit des Seiles die nöthige Kraft schon um 100 Pfund vermindern, sobald man die Scheibe von 9 auf 24 Zoll vergröfsert. In Betreff der Reibung wird der Vortheil aber noch gröfser. In England hat man die Erfahrung gemacht, dafs der fünfte Theil der Mannschaft entbehrlich wurde, sobald man statt der dort üblichen Scheiben von 10 Zoll Durchmesser, 4 Fufs hohe Scheiben benutzte, die aber auch noch insofern eine Vervollkommnung erfahren hatten, als die Achse in der Scheibe befestigt war und in Pfannen lief.

Das Material, woraus die Scheibe gewöhnlich besteht, ist Holz, doch wählt man dazu solche Arten, die nicht nur hart sind, sondern sich auch recht glatt reiben, und wo sie über den Spahn geschnitten sind, keine grofse Schärfe zeigen. Aus diesem Grunde ist Eichenholz hierzu nicht passend, dagegen wird Weifsbuchen-, auch Birken- und bei kleineren Scheiben das sehr feste und dauerhafte Guajak- oder Pockholz besonders benutzt. Man dreht die Scheiben, wenn sie klein sind, aus vollem Holze aus, und selbst gröfsere werden zuweilen aus mehreren Bohlenstücken so zusammengesetzt, dafs die Holzfasern durchweg parallel liegen. Fig. 177 zeigt eine Scheibe dieser Art von 2 Fufs Durchmesser, die bei den Rammarbeiten am Ems-Canale in der Gegend von Lingen angewendet wurde. Die drei Bohlenstücke waren darin theils durch Federn und Nuthen und theils durch vier eingeschobene und verbohrte hölzerne Däbel, aufserdem aber noch an jeder Seite durch fünf eiserne

Man schrob nun den Rost so weit auf, dafs seine obere Fläche einige Zolle über Wasser schwebte und versetzte darauf die erste Schicht Werksteine. Alsdann wurden die obern Muttern zurückgedreht, so dafs die fertige Mauerschicht wieder nur wenig über den Wasserspiegel sich erhob. Bei diesem Zurückdrehn der Muttern war zu besorgen, dafs die Schrauben selbst, wenn sie nicht in irgend einer Weise gehalten würden, an dieser Bewegung Theil nehmen möchten. Sie würden in diesem Falle sich von den untern Muttern gelöst haben, falls beide Gewinde in gleicher Richtung geschnitten gewesen wären. Bei der getroffenen Anordnung konnte dieses aber nicht geschehn, und man brauchte nur, nachdem die Senkung des Rostes vollständig erfolgt und die obere Mutter abgezogen war, die Schraube in umgekehrter Richtung zu drehen, um sie ausheben zu können. Das Mauerwerk wurde übrigens nicht unmittelbar bis an die Schrauben herangeführt, vielmehr waren die Steine so zugerichtet, dafs sich hohle Cylinder von 8 Zoll Durchmesser um sie bildeten.

Es war Absicht, in dieser Weise die Mauer so hoch aufzuführen, dafs ihre obere Fläche einige Fufs tief unter Wasser lag, diese aber mit einer Reihe Werksteine ringsumher zu umgeben, die einen Fangedamm um den noch auszumauernden hohlen Raum bilden sollte. Die Oeffnungen um die Schrauben sollten nach der vollständigen Versenkung des Rostes und nach Beseitigung der Schrauben und der hindurchgreifenden Rüstpfähle mit Béton gedichtet und alsdann der obere Raum ausgepumpt werden. Die Stärke der 39 Schrauben, die nicht angegeben wird, war nach der Mittheilung so gewählt worden, dafs das daran hängende Gewicht jederzeit sicher getragen werden konnte, vorausgesetzt, dafs man nach Vollendung jeder einzelnen Schicht, das Mauerwerk möglichst tief eintauchen liefs. Die Schrauben waren auch möglichst gleichmäfsig über die ganze Fläche vertheilt, und sämmtliche Muttern wurden beim Herablassen gleichzeitig und genau übereinstimmend gedreht, wodurch die gleichmäfsige Senkung des Rostes ermöglicht wurde.

Nach Vollendung der zweiten Schicht und nachdem man die äufsere Reihe der dritten Schicht versetzt hatte, wodurch das Mauerwerk sich etwa 8 Fufs über den Rost erhob, brachen indessen während des Versenkens plötzlich 3 Schrauben, und wenn man diese

auch durch Haken, die von aufsen untergeschoben wurden, zu ersetzen sich bemühte, so sah man sich doch gezwungen, nunmehr den Rost möglichst schnell auf die Pfähle zu stellen und einige Fufs tief die Maurer-Arbeit unter Wasser fortzusetzen.

§. 35.
Die Zugramme.

Zum Eintreiben der Rostpfähle, wie auch der Spund- und andrer Pfähle bedient man sich der Rammen. Der wesentlichste Theil derselben ist der hölzerne oder eiserne Rammklotz, auch der Bär genannt. Dieser wird abwechselnd gehoben und übt beim jedesmaligen Herabfallen auf den Pfahl den Stofs aus, wodurch letzterer tiefer in den Grund eindringt. Das Heben des Klotzes erfolgt entweder aus freier Hand; alsdann ist keine weitere Vorrichtung erforderlich und die ganze Ramme besteht nur aus dem Klotze. Man nennt eine solche die Handramme. Hat der Klotz dagegen ein gröfseres Gewicht, so dafs er nicht mehr unmittelbar gefafst werden kann, so hängt er an einem Tau, das über eine Rolle gezogen und am hintern Ende mit den Zugleinen verbunden ist, von denen jede durch einen Arbeiter gefafst und bei jedem Hube angezogen wird. Diese Ramme, welche eine feste Rüstung erfordert, heifst Zugramme. Bei der Kunstramme endlich erfolgt das Heben des Klotzes durch eine mehr complicirte mechanische Vorrichtung, und wenn diese durch Dampfkraft in Bewegung gesetzt wird, so nennt man die Ramme eine Dampframme.

Die Handramme besteht wohl immer aus Holz, und zwar pflegt man der Festigkeit wegen dazu Eichenholz anzuwenden. Man versieht sie mit Armen oder Bügeln, an welchen die herumstehenden Arbeiter sie fassen und bequem heben und führen können, indem aber beim tieferen Eindringen des Pfahles auch der Klotz tiefer herabsinkt, während die Arbeiter unverändert in gleicher Höhe stehn bleiben, so mufs man dafür sorgen, dafs der Klotz in verschiedener Höhe gefafst werden kann. Zu diesem Zwecke bringt man zuweilen vier Arme an, die in der halben

sich zugleich mit ihr umdrehn. Dieses begründet sich dadurch, dafs die Entfernung der Stützpunkte, welche die senkrechte Stellung der Scheibe sichern, ohne dafs diese sich gegen die Läuferruthe lehnt, hierdurch gröfser wird und sonach eine Neigung nach der Seite nicht so leicht erfolgen kann. Wenn nach der gewöhnlichen Einrichtung die Scheibe sich auf der Achse dreht, so schleift sich ihre Buchse nicht gleichmäfsig aus, sondern das ursprünglich cylindrische Loch wird bald an beiden Seiten weiter als in der Mitte, und nunmehr neigt sich die Scheibe stark seitwärts und fängt an, heftig gegen die Ruthen oder die erwähnten Backen zu schleifen, wodurch ein grofser Kraftverlust entsteht. Diesem Uebelstande beugt man vor, wenn die Achse innerhalb der Scheibe viereckig und in den beiden vorstehenden Enden cylindrisch ausgeschmiedet und abgedreht wird. Mit diesen Enden läfst man sie in gehörigen Pfannenlagern laufen, und wenn sich hier nach und nach auch einige Abnutzung zeigt, die man jedoch durch gehöriges Einschmieren sehr vermindern kann, so läuft die Scheibe dennoch immer frei und jene Reibung gegen die Ruthe tritt nicht ein.

Die Pfannenlager kann man auf Knaggen legen, die man gegen die Läuferruthen befestigt, doch sind in diesem Falle durchgehende Schraubenbolzen nothwendig, weil die Nägel sich leicht ausziehn. Dasselbe ist auch zu besorgen, wenn man eiserne Eckbänder unter den Knaggen oder Riegeln anbringen wollte, die wieder nur mit Nägeln befestigt wären. Fig. 179 zeigt die Vorkehrung dieser Art, die bei den Rammen am Ems-Canale getroffen war. Jede Knagge wurde durch 2 Bolzen gehalten und beide verbreiteten sich im obern Theile, so dafs sie zugleich die Stelle der Backen versahn. Man mufs statt der Knaggen schon Riegel anwenden, welche weiter rückwärts die Pfannen tragen, sobald das Rad so grofs wird, dafs seine Achse etwa 3 Zoll, oder noch weiter hinter die Läuferruthe trifft. Sehr einfach wird diese Anordnung, wie Fig. 180 in der Seitenansicht und im horizontalen Querschnitt zeigt, sobald die Ramme zwei Läuferruthen hat. An jede derselben bolzt man nämlich von aufsen einen Riegel, und beide Riegel sind auf der andern Seite wieder mit der Strebe oder Stütze durch einen Schraubenbolzen verbunden. Es ist hier jedoch nothwendig, dafs die Stütze immer eine bestimmte Neigung gegen die Läuferruthe behält.

Endlich wendet man auch zuweilen zwei Scheiben an, um

wie bereits erwähnt die Zugleinen weniger schräge wirken zu lassen. Fig. 181 zeigt die Befestigungsart zweier Scheiben von 5 Fuſs Durchmesser, wie ich solche in Havre sah. Jede Scheibe hat neben sich zwei Riegel, die theils auf einer gegen die Stütze gebolzten und durch Bänder unterstützten Schwelle aufliegen und theils gegen die Läuferruthen und zwei Stiele befestigt sind. Diese Stiele stehn auf einer andern Schwelle auf, welche wieder in gleicher Art, wie die erwähnte, von den Läuferruthen getragen wird. Hierbei waren an die Oese des Rammklotzes neben einander zwei Taue angesteckt, deren hintere Enden auf den andern Seiten der Scheiben sich 7 Fuſs von einander entfernten.

Es ist bisher nur von hölzernen Scheiben die Rede gewesen, zuweilen versieht man die Ramme aber auch mit gufseisernen Scheiben, oder es geschieht wohl, daſs man die Rille in der hölzelnen Scheibe, um ein Abschleifen zu verhindern, mit eisernen Schienen ausfüttert. Das erste kommt bei den bessern Rammen in England gewöhnlich vor, das letzte sieht man nicht selten in Frankreich, namentlich wenn gröſsere Scheiben benutzt werden. Man glaubt häufig, daſs das Rammtau, wenn es über Eisen oder überhaupt über Metall läuft, stark angegriffen wird, auch daſs es sich dabei erhitzt und auf diese Art leidet. Die Erhitzung steht in genauer Beziehung zur Reibung, wenn daher letztere sehr groſs ist, so wird auch die Abnutzung bedeutend, besonders wenn die Wärme so zunehmen sollte, daſs das Tau zu rauchen anfinge. Ich habe häufig mit guſseisernen Rammscheiben arbeiten lassen, aber dabei nie eine Erwärmung der Scheibe und ebensowenig des Taues wahrgenommen. Die Reibung und die daraus hervorgehende Abnutzung des Taues kann freilich bei Anwendung guſseiserner Scheiben oder eiserner Schienen sehr bedeutend und viel gröſser werden, als beim Holze, wenn das Eisen noch die rauhe Guſsfläche hat, oder die Schienen nur mit einer groben Feile bearbeitet sind und wohl gar vorstehende scharfe Ränder haben. Man muſs also möglichst dafür sorgen, vor dem Gebrauche solche Unebenheiten zu entfernen, der Nachtheil derselben ist hier viel gröſser, als bei einer andern Benutzung der Scheiben, indem, wie bereits erwähnt, beim Aufschlagen des Rammklotzes die Scheibe sich noch weiter dreht, während das Tau festgehalten wird, und diese Bewegung der Scheibe setzt sich um so länger fort, je gröſser ihr Gewicht und namentlich das

des Kranzes ist. In der letzten Beziehung zeigt sich das Gufseisen aber nicht ungünstig, denn wenn es auch ein viel gröfseres specifisches Gewicht als Holz hat, so darf es dagegen auch schwächer gehalten werden, indem die vortretenden Ränder, welche die vertiefte Rille bilden, schon dem Rade die nöthige Festigkeit geben, und wenn sonach eine gufseiserne Scheibe auch immer noch schwerer bleibt als eine hölzerne, so ist der Unterschied des Gewichtes dennoch nicht so bedeutend, dafs er das Moment der Bewegung auf eine nachtheilige Art vermehren könnte. Der wichtige Vortheil der gufseisernen Scheiben ist aber ihre Dauer und Festigkeit, auch läfst sich die Achse darin sicherer anbringen, so dafs die Drehung regelmäfsiger als bei hölzernen Scheiben erfolgt. Dazu kommt noch, dafs diese Räder sich bei längerem Gebrauche sehr glatt auslaufen und die Rillen mit der Zeit solche Politur annehmen, als wenn sie ausgeschliffen wären. Alsdann ist die Abnutzung der Taue gewifs viel geringer, als bei hölzernen Scheiben.

Fig. 182 zeigt eine gufseiserne Scheibe, ähnlich der, welche schon bei Gelegenheit der Scher-Ramme (Fig. 168) erwähnt ist. Man kann dieselbe bei kleineren Rammen sehr zweckmäfsig benutzen und sie ist auch sonst auf jeder gröfseren Baustelle sehr brauchbar. Ihre Construction ergiebt sich aus den Figuren und es ist dabei nur zu erwähnen, dafs die Achse in die Scheibe festgekeilt ist und auf Pfannen ruht, welche seitwärts vor die Fassung vortreten, die Fassung aber besteht aus zwei geschmiedeten Platten, die mittelst dreier Riegel mit einander verbunden sind. Jeder Riegel ist an jeder Seite mit einer Schraubenspindel versehn und durch jede Platte greifen drei solche Spindeln, die mittelst Muttern fest angezogen werden. Zwischen dem eigentlichen Riegel und dem Schraubengewinde befindet sich noch ein kurzer Theil mit quadratischem Querschnitt, dieser steckt in der Fassung und hindert das Drehen des Riegels, während die Schraubenmutter angezogen wird. Wenn die Riegel passend ausgefeilt sind, so erhält die ganze Fassung der Scheibe eine grofse Festigkeit. Es ist aber noch zu bemerken, dafs durch die Mitte des obern Riegels ein Haken hindurchgreift, der unten mit einem Kopfe versehn ist und einen Wirbel bildet.

Das Rammtau ist derjenige Theil des Apparats, der am schnellsten abgängig wird, und dieses rührt hauptsächlich vom stofs-

weisen Anziehn her, wodurch das Tau nicht dauernd in einer gewissen Spannung erhalten wird, sondern eine solche abwechselnd eintritt und wieder aufhört. Aus diesem Grunde mufs das Tau eine gröfsere Stärke erhalten, als wenn es nur dazu dienen sollte, den Rammklotz zu tragen, oder mit mäfsiger Geschwindigkeit zu heben. Andrerseits ist aber eine grofse Dicke und ein grofses Gewicht des Taues auch sehr nachtheilig, denn durch die erstere vermehrt sich die Steifigkeit und die Kraft, die zur Ueberwindung derselben erforderlich ist, und das grofse Gewicht des Taues vermindert wieder den Effect des Klotzes beim Herabfallen. Aus diesem Grunde empfiehlt es sich, das beste Tauwerk, das man bekommen kann, zu wählen. Die Mehrkosten dafür werden, abgesehn von den übrigen Vortheilen, durch die längere Dauer desselben reichlich aufgewogen, Bedingung ist es aber, dafs das Rammtau bei geringem Durchmesser und Gewichte recht fest und dabei möglichst biegsam sein mufs. Getheertes Tauwerk ist aus dem letzten Grunde ganz unpassend. Man hat vorzugsweise darauf zu sehn, dafs das Tau aus reinem Hanf gesponnen ist, und man überzeugt sich hiervon, wenn man ein Ende aufzerrt, es in die einzelnen Stränge und Drähte zerlegt und selbst diese noch löst und untersucht, ob überall recht feine und biegsame Fasern vorkommen, oder ob vielleicht dazwischen noch Stückchen der holzigen Masse des Hanfstengels liegen. Im letzteren Falle ist das Tau schon im Allgemeinen von geringem Werthe, als Rammtau aber ganz unbrauchbar. Ferner ist es vortheilhaft, das Rammtau links spinnen zu lassen. Es werden nämlich gewöhnlich alle Drähte, sowie auch die Stränge, die schon aus den einzelnen Drähten oder den zuerst gesponnenen Fäden bestehn, rechts gesponnen, das heifst die Windung ist in derselben Richtung angebracht, wie bei der gewöhnlichen Schraube. Hält man den Strang oder den Faden senkrecht vor sich, so sieht man die Windung von der linken Seite nach der rechten ansteigen. Werden die Stränge zu einem Tau verbunden, so spinnt man sie gewöhnlich wieder rechts, links gesponnen ist aber dasjenige Tau, in welchem die Windung der Stränge derjenigen der einzelnen Fäden entgegengesetzt ist. Hält man ein solches Tau wieder vor sich, so bemerkt man, dafs die Windung von der rechten Seite nach der linken ansteigt. In diesem Falle vermindert sich etwas die Steifigkeit der einzelnen Fäden und das Tau wird dadurch biegsamer, man meint

aber, dafs es sich stärker reckt oder ausdehnt, als das rechts gesponnene, was jedoch bei dieser Anwendungsart nicht nachtheilig ist.

Wenn das Tau aus vorzüglichem Material besteht, so genügt eine Stärke von 16 Linien im Durchmesser *) für einen 12 Centner schweren Klotz, und ein solches Tau pflegt sich bei fortgesetztem Gebrauche während der gewöhnlichen Arbeitsstunden einige Monate hindurch ohne Beschädigung zu erhalten. Zuerst wird es da angegriffen, wo es die Rammscheibe trifft, während der Klotz auf dem Pfahle steht. Diese Stelle ist zwar bald höher und bald tiefer, da aber die Anzahl der Schläge auf jeden Pfahl, so lange er noch schnell eindringt, sehr unbedeutend gegen diejenige bleibt, die ihn trifft, wenn er schon beinahe seine ganze Tiefe erreicht hat, so bestimmt sich die Stelle der stärksten Beschädigung im Rammtaue nach der Tiefe, zu welcher die Pfähle durchschnittlich eingerammt werden. Wenn diese Stelle nicht gerade in die Mitte des Taues trifft, so kann man, sobald sich Beschädigungen zeigen, dasselbe noch umkehren und das Ende, woran früher die Zugleinen angesteckt waren, an die Oese des Klotzes befestigen.

Das Anbinden des Taues an den Klotz geschieht in ähnlicher Art, wie bei Gelegenheit der Befestigung des Gestänges beim Bohren Artesischer Brunnen (§. 10.) erwähnt wurde, und zwar ebensowohl, wenn eine hölzerne, als wenn eine eiserne Oese am Rammklotze angebracht ist. Im letzten Falle darf man indessen das Tau nicht unmittelbar um diese Oese oder die Kramme schlingen, weil hier die Windung zu scharf wäre, der Gebrauch der ringförmigen eisernen Rinnen oder der Kauschen ist hier aber nicht passend, weil dieselben sich bei den starken Stöfsen zu leicht verbiegen. Man umwindet daher die Kramme einige Zoll hoch mit altem Tauwerk und darüber mit Leinen, wodurch eine noch weichere Unterlage gebildet wird, als die hölzerne Oese bietet. Auch der Knoten im Tau erfordert hier gröfsere Vorsicht, und es ist gewöhnlich, dafs, wenn auf die in Fig. 14 Taf. I dargestellte Art der Schlag gemacht

---

*) Bei Ankertauen und überhaupt bei der Takelage der Seeschiffe pflegt man unter der Benennung Stärke eines Taues nicht den Durchmesser, sondern den Umfang zu verstehn, doch ist diese Bedeutung hier nicht angenommen.

ist, man das kurze lose Ende des Taues in die einzelnen Stränge zerlegt und jeden derselben mehrmals zwischen die Stränge des andern Theiles hindurchzieht. Um die letzteren von einander zu trennen, bedient man sich eines starken eisernen Dornes. Wenn diese Arbeit sorgfältig gemacht wird, so erhält das Tau wieder eine regelmäfsige Rundung, und hierdurch überzeugt man sich, dafs alle Theile desselben gleichmäfsig tragen. Ein starker Faden wird alsdann möglichst fest umgewunden und zwar über die ganze Strecke, worin das Ende versteckt ist.

An den von der Scheibe herabhängenden Theil des Rammtaues werden die Zugleinen angesteckt, deren Anzahl eben so grofs ist, wie die der Arbeiter. Sie dürfen nur etwa ein Viertel Zoll stark sein, es kommt aber sehr darauf an, dafs sie die nöthige Länge haben und recht hoch am Rammtau befestigt sind. Die Arbeiter stellen sich nämlich rings um das Rammtau, und wenn ihrer sehr viele sind, so stehn die äufsern wohl 10 Fufs von der verlängerten Richtung desselben entfernt. Sind nun die Zugleinen nicht bedeutend länger, als dieser horizontale Abstand, so ist der Zug sehr schräge, und die Arbeiter können in diesem Falle nur eine geringe Kraft entwickeln, aufserdem aber überträgt sich auf das Rammtau nur derjenige Theil von dieser Kraft, der vertical abwärts gerichtet ist, und der horizontale Theil derselben wird durch den entgegengesetzten Zug aufgehoben, den die auf der andern Seite stehenden Arbeiter ausüben. Es ergiebt sich hieraus der Vortheil, den die Anwendung zweier grofsen Scheiben (Fig. 181) gewährt, und es mufs bemerkt werden, dafs man auch andre Mittel angewendet hat, um für die ganze Mannschaft einen mehr senkrechten Zug möglich zu machen. Hierher gehört namentlich, dafs man einen grofsen eisernen Reif von etwa 10 Fufs Durchmesser durch drei oder vier starke Leinen an das Rammtau horizontal aufhängt und an diesen die Zugleinen befestigt *), auch wählt man statt dessen zuweilen einen Baum oder eine Bohle, wie in Holland oft geschieht, wodurch gleichfalls die Zugleinen etwas weiter auseinandergebracht werden, aber sehr nachtheilig ist in beiden Fällen das Gegengewicht, wodurch der Schlag des Rammklotzes geschwächt wird, es pflegen dabei auch unangenehme Schwankungen einzutreten, welche

*) *Perronet description des ponts.* p. 589.

ein scharfes und kräftiges Anziehn verhindern. Das vortheilhafteste und einfachste Mittel zur Vermeidung des schrägen Zuges bleibt sonach immer die Anwendung langer Zugleinen.

Die Knebel oder die Handhaben, woran die Arbeiter ziehn, müssen immer in passender Höhe sich befinden. Wenn dieses aber auch in einer gewissen Zeit der Fall ist, so ändert es sich bald, denn wie der Pfahl weiter eingeschlagen wird, so hebt sich der Knebel, und der Arbeiter ist alsdann nicht mehr im Stande, den kräftigen Zug daran auszuüben. Hiernach mufs in kurzen Zwischenzeiten immer ein Verstellen vorgenommen werden, und dieses kann auf zwei verschiedene Arten geschehn, nämlich entweder sind die sämmtlichen Zugleinen an ein besonderes kreisförmig gewundenes Tau, das sogenannte Kranztau, gebunden, und dieses steckt man, sobald es nöthig ist, mittelst eines hölzernen Pflockes höher an das Rammtau fest. Fig. 183 zeigt die gewöhnliche Befestigungsart des Kranztaues, und man bemerkt leicht, wie durch die Entfernung des Pflockes sogleich die durch das Kranztau hindurchgezogene Windung des Rammtaues frei wird und die Verbindung sich löst. Andrerseits läfst man aber auch das Kranztau ganz fort, indem man die Zugleinen unmittelbar an das Rammtau bindet. Alsdann kann jeder Arbeiter den Knebel in der passenden Höhe befestigen und so oft es nöthig ist, verstellen. In diesem Falle wird das Ende der Zugleine um den Knebel gewunden, und indem man die letzte Windung verkehrt aufsteckt, so bildet sich die Befestigungsart, welche Fig. 184 zeigt. Der Arbeiter kann dabei den Knebel mit aller Kraft herabziehn, ohne die Leine zu lösen, sobald er aber den Knebel in der durch den Pfeil angedeuteten Richtung zurückdreht, so verlängert sich sogleich die Zugleine.

Die letzte Methode hat zwar den Nachtheil, dafs man lange Zugleinen braucht und dafs dieselben dennoch, sobald ein neuer Pfahl gesetzt wird, ziemlich tief am Rammtau hängen, wodurch der Zug wieder sehr schräge wird. Dieser Umstand ist aber insofern von keiner Bedeutung, als der so eben gesetzte und daher noch lose Pfahl nur schwacher Schläge bedarf, um schnell einzudringen. Die Arbeiter pflegen in dieser Zeit auch gar nicht die Knebel zu benutzen, ziehn vielmehr die Zugleinen und das Rammtau nur mit den Händen herab und lassen auf solche Art den Klotz kaum einen Fufs weit fallen, es ist sogar nothwendig, dafs Anfangs keine starke

Schläge erfolgen, weil dabei der Pfahl leicht eine schiefe Richtung annimmt. Viel bedenklicher ist die Anwendung des Kranztaues, insofern dasselbe leicht etwas zu hoch oder zu niedrig befestigt wird. Auch leidet dabei das Rammtau durch die scharfe Windung, die es beim Feststecken annehmen muſs, und die jedesmal, nachdem das Kranztau verstellt wurde, immer von Neuem festgezogen wird. Endlich aber verlangen die Arbeiter, jenachdem sie näher am Rammtau stehn und von verschiedener Gröſse sind, auch eine verschiedene Höhe des Knebels. Aus dem letzten Grunde muſs man selbst in dem Falle, wenn das Kranztau angewendet wird, dennoch die beschriebene Befestigungsart der Knebel beibehalten, damit jeder diesen nach Belieben passend einstellen kann. Dagegen hat die unmittelbare Befestigung der Zugleinen an das Rammtau keine Unbequemlichkeit, und selbst in dem Falle nicht, wenn die Pfähle bis 30 Fuſs tief eingeschlagen werden. Man erspart dabei aber noch an der Länge des Rammtaues, denn dasselbe darf, wenn der Klotz an seiner tiefsten Stelle steht, nur etwa 3 Fuſs über die Rammscheibe reichen, und in diesem Falle ist ein Umkehren des Taues, wie oben erwähnt worden, sehr wohl möglich.

Was die Ausführung der Rammarbeiten betrifft, so werden die Arbeiter rings um das Rammtau gestellt, so daſs sie sämmtlich mit dem Gesichte demselben zugekehrt sind, sie dürfen dabei jedoch nicht zu dicht neben- und hintereinander stehn, und man muſs auf jeden einen Flächenraum von 5 bis 6 Quadratfuſs rechnen. Eine zu groſse Verbreitung ist andrerseits aber auch nachtheilig, indem alsdann die Zugleinen gar zu schräge gerichtet werden. Für den Knebel, der in einem cylindrisch zugeschnittenen Holze von 1¼ Zoll Durchmesser besteht, genügt eine Länge von 12 Zoll, wenn nur das Ende der Zugleine daran gebunden wird, er muſs aber mindestens 15 Zoll lang sein, wenn noch 20 bis 25 Fuſs Zugleinen darum geschlungen werden sollen. Die Windungen müssen auch in diesem Falle nur in der Mitte bleiben, und nie darf der Arbeiter während des Rammens darüber fassen, weil er sonst zu unbequem den Knebel halten würde. Die passendste Höhe für den Knebel ist diese, daſs derselbe, sobald der Klotz auf dem Pfahle aufsteht, vor den Augen des Arbeiters schwebt, wenigstens ist dieses nothwendig, wenn man den einzelnen Arbeiter mit mehr als 30 Pfund belastet. Trifft auf jeden ein geringeres Gewicht, so ist es vortheilhaft, den

Knebel noch einige Zolle über dem Kopfe hängen zu lassen, wodurch die Höhe des Zuges vergröfsert wird. Der Arbeiter fafst mit beiden Händen von oben über den Knebel und drückt denselben abwärts. Dieses geschieht im Anfange jedes Zuges mit einer mäfsigen Geschwindigkeit, indem theils die Masse in Bewegung gesetzt werden mufs und theils auch die Kraftäufserung noch ziemlich unbequem ist. Je weiter indessen der Knebel herabsinkt, um so vortheilhafter läfst sich der Druck dagegen ausüben. Zuletzt wird der Knebel mit steifen Armen nicht mehr gedrückt, sondern heftig gestofsen, so dafs der Klotz vermöge der erhaltenen Geschwindigkeit noch merklich höher heraufspringt und dadurch der Effect des Schlages sich ansehnlich vermehrt. Die ganze Höhe des Zuges oder die Tiefe, zu der der Knebel herabgedrückt wird, beträgt meist nur $3\frac{1}{2}$ Fufs, gewöhnlich hebt sich der Klotz aber 4 Fufs hoch, er gewinnt also einen halben Fufs Hubhöhe durch den Stofs, den er am Ende des Zuges erhalten hat. Man kann bei der gewöhnlichen Bemannung der Rammen in einzelnen Hitzen auch leicht die Hubhöhe bis auf 5 Fufs vermehren, und wenn die Arbeit auf Accord ausgeführt wird, so steigt der Rammklotz selbst 6 und 7 Fufs. Büsch erzählt, er habe gesehn, dafs bei Gelegenheit einer Wette ein 1800 Pfund schwerer Rammklotz durch 40 Menschen einmal 10 Fufs hoch geschleudert wurde. Man darf indessen dieses keineswegs als Norm ansehn und solche Leistung nicht dauernd verlangen, man mufs sich vielmehr bei Anstellung gewöhnlicher Tagelöhner schon damit begnügen, wenn durchschnittlich während der ganzen Arbeitszeit die Hubhöhe 4 Fufs beträgt.

Bei uns rechnet man gewöhnlich auf jeden Mann ein Gewicht von 30 Pfund, wenn also der Rammklotz 6 Centner wiegt, so werden 20 Mann angestellt. Man weicht indessen häufig von diesem Satze bedeutend ab. Bei den Rammarbeiten, die ich in den französischen Seehäfen ausführen sah, belastete man jeden einzelnen Arbeiter mit mehr als 40 Pfund, doch rechtfertigte sich dieses dadurch, dafs man nur während des niedrigen Wassers, also täglich zwischen 3 und 6 Stunden arbeiten konnte, und bald nach dem Beginne der Fluth die Baustelle verlassen werden mufste. Bei den Arbeiten an der Brücke zu Orleans hatte Perronet für die Ramme von 600 Pfund 16 Mann angestellt, es traf also auf jeden ein Gewicht von $37\frac{1}{2}$ Pfund. In England rechnet man wieder auf 100 Pfund 3 Mann, was mit

der ersten Angabe übereinstimmt. Sehr häufig geschieht es aber, dafs man den einzelnen Arbeiter viel weniger belastet. Perronet sagt in der Abhandlung über die Grundpfähle *), dafs man bei Rammklötzen von 600 Pfund 24 Arbeiter

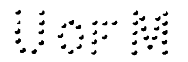
von	600	Pfund	24	Arbeiter
-	700	-	28	-
-	1200	-	48	-

anstellen müsse, es trifft also auf jeden nur ein Gewicht von 25 Pfund. Auch de Cessart stellte bei der Brücke zu Saumur bei einer Ramme, deren Klotz 1200 Pfund wog, 47 bis 50 Mann an. In Holland rechnet man gleichfalls auf den Mann nur 25 Pfund. Bei den sehr ausgedehnten Arbeiten am Ems-Canale, welche der Ober-Baurath Dammert mit grofser Sorgfalt leitete, wurden die gröfsten Rammen, deren Klotz 2000 Pfund wog, mit 70 Mann besetzt, der einzelne Arbeiter zog also 28½ Pfund.

Eine mäfsige Belastung empfiehlt sich im Allgemeinen, insofern bei solcher mit gröfserer Energie und mit weniger Unterbrechungen gearbeitet wird. Für die Rammen gilt dasselbe, wie für andre Maschinen. Der Effect setzt sich zusammen aus dem Producte des Zuges oder der Spannung in die Geschwindigkeit, womit derselbe ausgeübt wird, jemehr man den erstern vergröfsert, um so geringer wird die letzte, und das Maximum des Effectes erreicht man gewöhnlich, wenn der Zug bedeutend unter seinem Maximum ist. Bei den Rammarbeiten kann es freilich unter Umständen vortheilhaft werden, die Anzahl der Arbeiter zu vermindern und sonach jeden einzelnen stärker zu belasten. Dieses ist namentlich der Fall, wenn eine grofse Mannschaft angestellt wird, die nur bei dem eigentlichen Rammen ihre volle Beschäftigung findet und während der vielfachen Nebenarbeiten beim Verfahren der Ramme und beim Setzen der Pfähle grofsentheils unthätig bleibt.

Die Rammarbeit ist so anstrengend, dafs sie durch vielfache Pausen unterbrochen werden mufs. Es erfolgen gewöhnlich 20 bis 25 Schläge unmittelbar nacheinander, man nennt dieses eine Hitze, und alsdann tritt eine Pause von 2 bis 3 Minuten ein. Ein kräftiger und zuverlässiger Arbeiter, der bei der übrigen Mannschaft in Achtung steht, leitet durch seinen Zuruf diese Arbeit. Er führt gewöhnlich nicht eine Zugleine, sondern hält das Haupttau und steht sonach in der Mitte der Arbeiter. Da das hintere Ende des

*) *Description des ponts. pag.* 588.



Rammtaues Schwanztau genannt wird, so heifst er der Schwanzmeister.

Wenn auf alle drei Minuten eine Hitze trifft, so werden in der Stunde 20 und während der 10 Arbeitsstunden 200 Hitzen ausgeführt. Dieses kann man aber nicht leicht erreichen und man bringt es sogar selten über 150. De Cessart erzählt, dafs er nur mit recht starken Arbeitern, die überdies für jede Hitze besonders bezahlt wurden, es bis zu 170 Hitzen am Tage bringen konnte. Es ergiebt sich hieraus, dafs die Tagesthätigkeit eines bei der Ramme angestellten Arbeiters, oder dafs die Anzahl der Pfunde, womit er belastet ist, multiplicirt in die ganze Höhe, zu welcher er sie erhebt, nur ungefähr 300000 beträgt. Coulomb *) führt an, dafs bei einer Münze in Paris, wo die Anzahl der wirklich gemachten Schläge gezählt wurde, bei der Ramme die Tagesthätigkeit eines Arbeiters durchschnittlich nur auf 270000 betrug. Da nun aber die Tagesthätigkeit beim Drehn einer Kurbel 790000 und beim Steigen sogar 1400000 ist, so ergiebt es sich, dafs die Arbeiter bei der gewöhnlichen Ramme sehr unvortheilhaft angestellt werden und der Effect viel gröfser ausfallen würde, wenn man statt des ermüdenden stofsweisen Anziehens eine gleichmäfsige Kraftentwickelung zur Bewegung der Ramme anwenden könnte.

Ein andrer Uebelstand, der wieder die Wirksamkeit der Zugramme schwächt, beruht darauf, dafs so viele Arbeiter zugleich angestellt sind und es unmöglich ist, die Leistung des Einzelnen sicher zu controlliren. Man mufs bei allen Verrichtungen, die nicht auf Accord ausgeführt werden, die Arbeiter möglichst zu trennen suchen, damit man den Fleifs jedes Einzelnen zu beurtheilen im Stande ist. Bei der Ramme ist dieses nicht möglich, man darf aber auch nicht mit den Arbeitern in der Art accordiren, dafs sie für jeden Pfahl bezahlt werden, weil sich nicht vorher sehn läfst, welche Hindernisse vielleicht zufällig eintreten. Ein Accord ist nur möglich, wenn man bei zuverlässiger Aufsicht die einzelnen Hitzen vergütet und zugleich darauf achtet, dafs diese die gehörige Anzahl von Schlägen umfassen, und der Klotz dabei jedesmal hinreichend hoch gehoben wird. Gemeinhin begnügt man sich damit, einen tüchtigen Schwanzmeister anzustellen, der guten Willen hat und

*) *Théorie des Machines simples, nouvelle édition.* Paris 1821. *p.* 283.

dem die Leute zu folgen geneigt sind, wenn aber mehrere zuverlässige Arbeiter in der Mannschaft sich befinden, so beurtheilen sie ihre Cameraden sehr richtig und leiden es nicht, dafs einzelne darunter sich zu wenig anstrengen. Die schlechtesten Arbeiter erkennt man auch daran, dafs ihre Zugleinen beim Niederfallen des Klotzes steif bleiben, sie lassen sich nämlich, wenn sie sich mit den andern auch zugleich gebückt haben, durch den Klotz wieder heraufziehn und schwächen dadurch die Kraft des Schlages.

Beim Bau der Brücken über die Havel und Elbe in der Potsdam-Magdeburger und Magdeburg-Wittenberger Eisenbahn wurden durch eine sehr zweckmäfsige Anordnung in den Rammarbeiten besonders günstige Resultate erreicht. Diese stellten sich indessen erst heraus, nachdem die Mannschaften sich aus besonders kräftigen Leuten zusammengefunden und längere Uebung erworben hatten. Die Arbeiten wurden in Accord ausgeführt und zwar in der Art, dafs ein gewisser Tagelohn jedem Einzelnen als Minimum zugesichert war, und hierin die Bezahlung für 150 Hitzen bestand, dafs jedoch die folgenden Hitzen besonders bezahlt wurden. Der Klotz wog 18 Centner und wurde durch 60 Mann in Bewegung gesetzt. Jede Hitze zählte 40 Schläge, von denen jeder 4½ bis 5 Fufs hoch war. Gemeinhin wurden mehrere Hitzen, und oft 4 bis 5 derselben ohne Pause geschlagen, in seltenen Fällen sogar 8 bis 9, oder 320 bis 360 Schläge unmittelbar auf einander folgend. Die Anzahl der Hitzen stieg an einem Tage, wenn die Ramme nicht oft verstellt werden durfte, auf 270 und im Maximum auf 280 Hitzen. In diesem Falle verdiente jeder Arbeiter das Doppelte des ihm zugesicherten Taglohnes.

Die Schläge waren indessen zuweilen viel stärker, besonders wenn ein Pfahl schon beinahe den festen Stand erreicht hatte. Der Klotz wurde nämlich so hoch geschnellt, dafs die Arbeiter nicht nur mit den an die Zugleinen befestigten Knebeln gegen den Bohlenboden stiefsen, sondern ehe der Klotz herabfiel, schlugen sie noch zweimal auf den Boden, so dafs man bei diesem Rammen zwischen den starken Schlägen des Klotzes das laute Trommeln mit den Knebeln vernahm. In diesen sogenannten Trommelhitzen betrug die Fallhöhe des Klotzes 6½ bis 7 Fufs, und 40 Schläge derselben wurden als anderthalbfache gewöhnliche Hitze oder eben so, wie 60 andre Schläge vergütet.

Indem beim jedesmaligen Setzen eines Pfahles die Ramme verstellt, der Pfahl gehoben, herabgelassen und anfangs nur mit schwachen Schlägen eingetrieben wird, damit er sicher die beabsichtigte Stellung einnimmt und behält, und für diese verschiedenen Operationen eine mäſsige Anzahl von Arbeitern genügt, wobei also eine starke Bemannung der Ramme nicht gehörig beschäftigt werden kann, so ist es vortheilhaft hierzu eine besondere Ramme zu benutzen, die der andern vorangeht. Für diese genügt ein Klotz von 3 bis 4 Centnern und eine Bemannung von 16 bis 20 Leuten, während die Hauptramme mit dem schweren Klotze die bereits festgestellten Pfähle weiter herabtreibt, und abgesehn von der kurzen Unterbrechung beim Verfahren dauernd in Thätigkeit bleibt. Indem diese letzte Ramme aber nicht mehr zum Setzen der Pfähle benutzt wird, so bedarf sie auch keiner groſsen Höhe. Bei den vielfachen in jedem Jahre wiederholten Rammarbeiten im Pillauer Hafen führte ich diese Anordnung ein und dieselbe zeigte sich sehr vortheilhaft.

Bei Beschreibung der Rammgerüste ist schon von den Vorrichtungen zum Setzen der Pfähle die Rede gewesen. Gemeinhin dienen zu diesem Zwecke Winden, wodurch man zwar den Pfahl sicher, aber nur langsam heben kann. Häufig fehlt indessen die Winde, und es befindet sich am Kopfe der Ramme ein Haken, woran man einen Flaschenzug hängen kann. Letzterer gehört auf jeder gröſseren Baustelle zu den nothwendigsten Inventarienstücken und es wird daher eine nähere Beschreibung der Construction und Erfordernisse desselben nicht überflüssig sein.

Der Flaschenzug oder das Takel besteht aus zwei Blöcken, deren jeder eine oder mehrere Scheiben oder Rollen enthält. Wenn mehrere Scheiben in dem Blocke befindlich sind, so stehn sie nebeneinander, so daſs sie sich um eine gemeinschaftliche Achse drehn. Nur sehr selten sieht man noch die in den Lehrbüchern der Mechanik dargestellte Anordnung, wobei die eine Scheibe unter der andern angebracht ist: solche Blöcke heiſsen Violinblöcke. Diese Einrichtung ist aber unzweckmäſsig, weil die auf der innern Seite des Flaschenzuges befindliche Scheibe sehr klein sein muſs, damit die darüber gezogene Leine nicht gegen diejenige streift, welche über die äuſsere Scheibe läuft. Ein solches Streifen von einer Leine gegen eine andere muſs man aber immer vermeiden, weil dadurch nicht nur Reibung entsteht, sondern auch starke Ab-

nutzung. Demnächst ist diese Anordnung aber auch kostbarer als jene, wo die Scheiben neben einander liegen, und hierzu kommt noch, daſs die ganze Hubhöhe bei gleicher Befestigung der Blöcke und bei gleicher Länge der eingeschornen Leine geringer wird, weil die Blöcke länger sind.

Fig. 185*a* und *b* auf Taf. XIV stellt einen gewöhnlichen dreischeibigen Block in der Ansicht von vorn und von der Seite dar, und Fig. 185*c* zeigt denselben, nachdem er mit der Stroppe (einer Schlinge aus starkem Tau) und der Kausche versehn worden.

Die Scheiben werden aus dem sehr festen und harzigen Guajak- oder Pockholze gedreht und eben daraus besteht auch der Nagel oder die Achse, auf der die Scheiben laufen. Dieses Holz verursacht wegen des starken Gehaltes an Harz nur wenig Reibung und nutzt sich daher auch nur langsam ab. Aus demselben Grunde zieht es auch die Feuchtigkeit nicht an, selbst wenn nasses Tauwerk darüber gespannt wird, und es quillt weder, noch wirft es sich. Der abgedrehte Nagel steckt nicht sehr fest in der Fassung, und kann mit Leichtigkeit herausgeschlagen werden, er darf aber nicht so lose sein, daſs er sich mit der Scheibe umdreht. Die Schmiere, die man hier von Zeit zu Zeit anbringt, und namentlich sobald der schrillende Ton beim Gebrauche des Takels sich hören läſst, besteht in reinem Talg. Man streicht dasselbe nicht nur in das Loch der Scheibe, sondern man reibt damit auch ihre beiden Seitenflächen ein, weil letztere sich gegen die Fassung lehnen. Beim Ankaufe eines Blockes muſs man besonders darauf achten, daſs die Schlitze für die Scheiben unter sich parallel ausgeschnitten sind und das Bohrloch für den Nagel in beiden Richtungen auf jenen Schlitzen senkrecht steht, ferner müssen die Scheiben sich nicht gegen die Fassung klemmen, doch dürfen sie auch nicht zu viel Spielraum haben, und die Rinne, worin die Stroppe zu liegen kommt, die aber in der Nähe des Nagels immer verschwindet, muſs keine scharfen Ecken haben, damit das Tau in sanfter Biegung herumgeführt werden kann. Hat der Nagel sich beim Gebrauche etwas ausgelaufen, so kann man ihn noch umdrehn, da er nur auf einer Seite angegriffen wird, sobald er aber merklich eingeschnitten ist, so muſs man ihn durch einen andern ersetzen. Die Fassung besteht gewöhnlich aus Eschenholz, das sich hierzu theils durch seine Härte, besonders aber durch seine Zähigkeit empfiehlt,

indem es auch bei einem starken Stofse oder Schlage nicht leicht ausspringt oder splittert.

Will man einen Block gebrauchen, so mufs er mit der Stroppe versehn werden, dieselbe umfafst aber zugleich die Kausche (die ringförmig gebogene Rinne aus starkem Eisenblech), worin der Haken befestigt wird. Das Umlegen der Stroppe geschieht auf folgende Art: man zieht das Tau über die Kausche und den Block und schneidet es so ab, dafs es etwa auf einen Fufs Länge doppelt ist. Nachdem der Block wieder entfernt ist, löst man die Stränge der beiden Enden auf und verknüpft und versteckt sie sorgfältig in einander, so dafs sich hier wieder ein möglichst gleichmäfsiges Tau bildet. Man darf hierbei aber keineswegs ganz willkührlich die Stränge verstecken, sondern man mufs der Windung des Taues folgen und überhaupt sich bemühn, alle Stränge so zu legen, als ob sie vom Seiler zusammengesponnen wären. Durch starkes Schlagen mit einem hölzernen Hammer reguliren sich noch die Windungen und man bindet alsdann recht fest einen starken dünnen Faden um den zusammengesteckten Theil und verknüpft die Enden des Fadens, damit sie nicht lose werden. Nunmehr zieht man den Block wieder ein, und nachdem man ihn gehörig gerichtet hat, windet man eine starke dünne Leine wieder zwischen der Kausche und dem Blocke um die Stroppe, wodurch die gehörige Spannung und die sichere Lage der letztern erreicht wird. Hierbei kommt es besonders darauf an, dafs, wenn der Block am Haken hängt, die Scheiben eine senkrechte Stellung annehmen, und man mufs auch während des Gebrauches des Flaschenzuges hierauf immer aufmerksam bleiben, indem leicht ein Verschieben erfolgt und dadurch nicht nur starke Reibung entsteht, sondern auch der Block und die eingeschorne Leine sich abnutzen. Durch die Stroppe wird von beiden Seiten der Nagel bedeckt, so dafs er nicht herausfallen kann, doch pflegt die Stroppe bald so lose zu werden, dafs man sie etwas seitwärts schieben und den Nagel herausziehn kann, wenn das Schmieren nöthig wird. An einen von beiden Blöcken des Flaschenzuges mufs noch die einzuscherende Leine befestigt werden, und dieses geschieht entweder, indem man sie unmittelbar durch die Stroppe hindurchzieht und anknüpft, oder noch besser ist es, eine zweite Kausche auf der andern Seite des Blockes an die Stroppe auf die-



selbe Art, wie die erste, zu befestigen, worin alsdann das Ende der Leine jedesmal eingehakt werden kann.

An diesen Blöcken kommt aufser der Kausche kein Eisen vor, doch findet dieses nicht immer statt und häufig werden sie auch mit Eisen beschlagen. Es leidet keinen Zweifel, dafs sie im letzten Falle dauerhafter sind, doch vergröfsert sich alsdann auch ihr Preis, und das Aufbringen des Beschlages mufs mit grofser Sorgfalt geschehn, wenn dadurch nicht die Reibung vermehrt werden soll. Es gehört überhaupt das Beschlagen eines Blockes zu den schwierigeren Schmiedearbeiten, und wenn man nicht die nöthige Sorgfalt und Geschicklichkeit dabei voraussetzen kann, so thut man besser, den Block so zu benutzen, wie er aus der Hand des Blockmachers kommt, wobei die Scheiben und Nägel immer gehörig abgedreht zu sein pflegen. Ein beschlagener Block erhält eine eiserne Achse und deshalb mufs die Scheibe mit metallnen Buchsen versehen sein. Die letzten werden gegenwärtig sehr häufig aus Gufseisen dargestellt und sind alsdann viel billiger, als wenn sie geschmiedet werden. Sie erhalten, wie Fig. 186 zeigt, drei Lappen, worin die Bohrlöcher nach aufsen erweitert sind, damit man Nägel mit versenkten Köpfen einsetzen und dieselben auf der andern Seite der Scheibe, wo gleichfalls eine Buchse eingelassen ist, vernieten kann, so dafs die Flächen auf beiden Seiten ganz eben bleiben und nirgend das Eisen vortritt, wodurch die Fassung des Blockes leiden und die Scheiben den guten Schlufs verlieren würden. Das Einlassen der Buchsen in die Scheibe mufs mit grofser Sorgfalt geschehn, damit die Löcher an beiden Seiten sich einander genau gegenüberstehn und in die Achse der Scheibe treffen, der Bolzen, um den die Scheiben sich drehn, mufs aber abgedreht sein. Er ist auf der einen Seite mit einem Kopfe und auf der andern mit einem Schraubengewinde versehen, auf welches eine Mutter pafst, die ihn fest hält. Damit er sich aber nicht etwa mit der Scheibe zugleich umdrehn kann, wodurch die Mutter gelöst würde, so ist er neben dem Kopfe viereckig ausgeschmiedet und dieselbe Form hat auch die Oeffnung in dem Beschlage der Fassung. Den eisernen Ring, der die Fassung des Blockes umgiebt, zeigt Fig. 187, und zwar mit einem Haken, der sich drehen läfst, häufig giebt man ihm aber sowohl oben wie unten eine solche Oese, wie die Figur am untern Ende zeigt und worin ein Haken oder

Ring eingeschmiedet werden kann. Die Schwierigkeit besteht hierbei hauptsächlich darin, dafs sowohl der obere Haken, als die untere Oese genau in die Längenachse des Blockes fallen müssen, oder wenn der Block am Haken oder der Oese aufgehängt wird, müssen die Scheiben sich in senkrechter Lage befinden. Aufserdem müssen auch die Achsenlöcher im Beschlage genau den Löchern im Blocke entsprechen, und endlich mufs der Beschlag sich fest um den Block umlegen, ohne dafs dieser durch das glühende Eisen gelitten hat und wohl gar theilweise verkohlt ist. Der Bügel, der den Beschlag bilden soll, mufs sonach unter wiederholtem Aufpassen ausgeschmiedet werden, und damit dieses geschehn kann, so ist er anfangs noch nicht mit der engen Oese versehn, sondern nach einer weiteren Krümmung abgerundet. Nachdem er zuletzt noch heifs aufgelegt ist, wird erst die untere Oese durch starke Hammerschläge gebildet, indem man die Ecken zwischen derselben und dem Blocke einbiegt und dadurch den Beschlag in scharfe Spannung versetzt.

Wenn ein Pfahl gesetzt werden soll, so wird entweder das vordere Ende des Windetaues, das vom Krahnbalken herabhängt, oder wenn der Flaschenzug benutzt wird, ein am untern Blocke angestecktes Tau an den Pfahl befestigt. Dieses geschieht am leichtesten in der Fig. 188 dargestellten Art. Die untere Schlinge, die nur durch Umlegung des Taues gebildet wird, ist allein schon hinreichend, die meisten Pfähle zu halten, wenn man nur, sobald sie zu tragen anfängt und ehe der Pfahl die horizontale Lage verläfst, sie recht fest anzieht, was durch Herabstofsen der Schleife leicht zu bewirken ist. Wenn dagegen der Pfahl glatt ist, und ein Abgleiten zu besorgen wäre, so bringt man noch den einfachen Schlag an, der im obern Theile derselben Figur dargestellt ist, in manchen Fällen mufs der Sicherheit wegen noch ein zweiter ähnlicher Schlag weiter aufwärts gemacht werden.

Die Leine, welche in den Flaschenzug eingeschoren ist, können nur zwei und höchstens drei Arbeiter unmittelbar herabziehn, und selbst diese müssen Uebung haben, wenn sie gleichmässig und kräftig wirken und sich gegenseitig nicht hindern sollen. Um die übrigen Ramm-Arbeiter auch zu beschäftigen, und dadurch das Heben des Pfahles zu beschleunigen, so befestigt man an die Schwelle der Ramme noch einen einscheibigen Block, der wegen der Stelle, wo er befestigt ist, der Fufsblock genannt wird, zieht durch ihn jene

Leine und läſst an deren hinteres Ende, welches horizontal gerichtet ist, die ganze übrige Mannschaft anfassen. Auf solche Art wird die disponible Kraft zu diesem Zwecke gehörig benutzt, und wenn der Pfahl leicht, oder die Mannschaft stark ist, so hebt letztere nicht mehr stoſsweise, sondern in vollem Zuge den Pfahl und alsdann erfolgt das Setzen besonders schnell.

Man bringt den Pfahl so weit, dass er frei vor der Läuferruthe schwebt, der Rammklotz muſs aber schon früher so hoch gehoben sein, daſs er das gehörige Setzen des Pfahles nicht hindert, und er wird in dieser Stellung durch einen Vorsteckbolzen gehalten, den man in eins der dazu angebrachten Löcher in die Läuferruthe steckt. Der Pfahl wird, während er noch schwebt, in diejenige Richtung gebracht, in welcher er eingerammt werden soll, und wenn er vielleicht etwas gekrümmt, oder ein anderer Grund vorhanden ist, ihn in einer gewissen Lage einzurammen, so muſs man ihm diese geben, und ihn sogleich durch ein umgeschlungenes Tau gegen die Läuferruthe befestigen. Gewöhnlich wird die Winde oder die Leine im Flaschenzuge plötzlich gelöst, damit der Pfahl mit Heftigkeit in den Grund eindringt. Dieses Verfahren ist aber nicht passend, indem wenige schwache Schläge mit dem Rammklotze dieselbe Wirkung hervorbringen und beim Herablassen des Pfahles die Rücksicht auf seine gehörige Einstellung besonders wichtig ist. Es ist daher besser, daſs man den Pfahl langsam herabläſst, indem man ihn mit Hebeln oder Brechstangen und durch umgeschlungene Leinen leitet, auch wenn seine Spitze schon in den Grund eingedrungen ist, muſs man seine Stellung immer aufs Neue prüfen, und wenn man Abweichungen entdeckt, durch Verstellen der Ramme und durch Herüberziehn und Absteifen des Pfahles solche wieder entfernen, was im Anfange der Rammarbeit auch bald gelingt. Späterhin ist diese unausgesetzte Sorgfalt weniger nöthig und es giebt alsdann auch kein Mittel mehr, die Richtung des Pfahles noch bedeutend zu verändern.

Häufig, und besonders bei Grundpfählen muſs der Pfahl so tief eingerammt werden, daſs man ihn nicht mehr unmittelbar mit dem Rammklotze erreichen kann. Bei der Scherramme tritt dieser Uebelstand nicht ein, indem die Schere sich durch Einsetzen anderer Ruthen beliebig verlängern läſst, so daſs der Rammklotz auch unterhalb der Schwelle spielen kann. Eine eigenthümliche Vorrich-

tung, um die Pfähle mittelst gewöhnlicher Rammen sogar bis 20 Fufs unter die Rüstung herabzutreiben, und zwar durch die unmittelbaren Schläge des Rammklotzes, wurde beim Bau der Eisenbahnbrücke bei Wittenberge angewendet. Fig. 215 auf Taf. XVI zeigt dieselbe. Die Ramme war eine Winkelramme, und die einfache Ruthe derselben wurde durch die Arme des Klotzes umfafst. Sobald der Pfahl so tief eingedrungen war, dafs der Klotz den Kopf nicht mehr treffen konnte, so befestigte man eine zweite Ruthe in ihrem obern Theile gegen die erste, und zwar in gleicher Weise, wie der Klotz mit dieser verbunden gewesen war. Ihr unteres Ende hing man dagegen mittelst einer Kette an den bereits ziemlich fest stehenden Pfahl. Der Klotz wurde nunmehr an die zweite Ruthe gelegt und erhielt durch diese seine Führung, indem er eben so wie früher abwechselnd gehoben wurde. Das Rammtau nahm dabei kaum eine etwas schräge Richtung an, wenn man, wie die Figur zeigt, die zweite Ruthe an die äufsere Seite des Pfahles befestigte, so dafs der Pfahl zwischen beiden Ruthen sich befand.

Gewöhnlich wird der Aufsetzer oder Knecht angewendet, um die Pfähle unter der Schwelle der Ramme noch tiefer herabzutreiben. Fig. 189 zeigt denselben. Er besteht in einem eichenen Klotze, der oben mit zwei oder einem Arme versehn ist, die denen des Rammklotzes gleichkommen. Mit diesen umfafst er die Läuferruthe, oder greift durch selbige hindurch und wird auch dahinter wieder mit einem Riegel gehalten, so dafs seine Stellung gegen die Läuferruthe gehörig gesichert ist. Am untern Ende ist er mit einem eisernen Dorne versehn von etwa 6 Zoll Länge und dieser greift in ein Bohrloch, das im Pfahlkopfe angebracht ist. Sobald der Aufsetzer gebraucht werden soll, so wird zunächst der Kopf des Pfahles, der gemeinhin schon stumpf geschlagen ist, abgeschnitten und das Loch für den erwähnten Dorn eingebohrt, man mufs aber darauf sehn, dafs dieses an der passenden Stelle angebracht wird, damit der Aufsetzer in die Richtung der Läuferruthe und des Pfahles trifft. Bei Anwendung dieses Aufsetzers bemerkt man jedesmal eine bedeutende Schwächung des Effectes der Ramme, was eine Folge von der Uebertragung des Stofses von dem einen Klotze auf den andern ist, dieser Verlust wird aber noch bedeutender, wenn die Oberflächen des Pfahlkopfes und des Aufsetzers nicht aus festen Holzfasern bestehn, diese sich vielmehr getrennt und umgelegt haben.

Aus den Beobachtungen, die ich mit dem Modelle einer Ramme anstellte, ergab sich, dafs wenn abwechselnd eine gewisse Anzahl von Schlägen den Klotz unmittelbar traf, und eine eben so grofse Anzahl und zwar mit gleicher Hubhöhe des Klotzes auf den Aufsetzer geführt wurde, der Aufsetzer den Effect beinahe um ein Drittel schwächte. Bestand der Aufsetzer aber aus einem Korke, so betrug der Verlust beinahe die Hälfte.

Wenn Pfähle schräge eingerammt werden sollen, so mufs die Ramme so gestellt werden, dafs die Läuferruthe der Richtung des Pfahles parallel ist. Mittelst der oben beschriebenen Stützenramme (Fig. 167) ist dieses leicht auszuführen. Zuweilen richtet man auch andere Rammen mit fester Verschwellung so ein, dafs durch verschiedene Befestigung der rückwärts angebrachten Stützen, der vorderen Wand eine beliebige Neigung gegeben werden kann. In einzelnen Fällen hat man indessen auch durch senkrechte Schläge die Pfähle schräge und oft stark geneigt eingerammt, indem man den Pfahlkopf jedesmal so abzusteifen sich bemühte, dafs derjenige Theil des Stofses, der normal gegen die Achse des Pfahles gerichtet war, aufgehoben wurde. Dabei ist aber der Verlust an lebendiger Kraft sehr grofs, was sich schon aus den heftigen Erschütterungen und Beschädigungen der Rüstung bemerken läfst. Neben der früheren Schiffbrücke in Bremen sah ich einst auf diese Art einen Pfahl einrammen, der etwa 30 Grade gegen das Loth geneigt war. Wenn derselbe auch wirklich nach und nach etwas tiefer eingetrieben wurde, so geschah dieses doch so unmerklich, dafs es eine überaus kostbare Arbeit zu sein schien, und dieses um so mehr, als die Absteifungen und die ganze Rüstung bei den Erschütterungen wiederholentlich sich lösten, auch einzelne Stücke zerbrachen.

Endlich ist noch zu erwähnen, dafs man zuweilen auch von Fahrzeugen, und besonders von breiten und platten Prahmen aus die Rammarbeiten ausführt, namentlich wenn im Wasser eine Rüstung oder auch ein Fangedamm erbaut werden soll. Starke Grundpfähle wird man auf diese Art freilich nicht einrammen, weil die Arbeit zu unsicher ist, auch manche Schwierigkeiten dabei eintreten, das gewöhnliche Verfahren ist vielmehr dieses, dafs die eigentliche Rammarbeit erst später, und zwar mit Benutzung der auf diese Art ausgeführten Rüstung vorgenommen wird. Beim Gebrauche der auf Fahrzeuge gestellten Rammen tritt leicht ein starkes Schwanken ein,

indem der Klotz, der immer über das Fahrzeug hinaus hängen mufs, beim Herabfallen und beim Aufschlagen auf den Pfahl, das Fahrzeug gar nicht belastet, wohl aber während er aufgezogen wird einen starken Druck veranlafst, der sogar, wenn er schnell gehoben wird, gröfser als sein Gewicht ist. Auf diese Art wird vor der Läuferruthe die Belastung des Fahrzeuges abwechselnd bald gröfser und bald kleiner, und dadurch entsteht das Schwanken, welches jedesmal sehr merklich ist und oft so stark wird, dafs es die Fortsetzung der Arbeit verhindert und man jede Hitze auf wenige Schläge beschränken mufs. Man kann diesen Uebelstand wesentlich vermindern, wenn man die Ramme so stellt, dafs die vordere Schwelle senkrecht gegen die Längenachse des Prahmes gerichtet ist, doch braucht man in diesem Falle zwei Prahme, und dieselben sind so zu verbinden, dafs der einzurammende Pfahl zwischen sie trifft. Häufig erlaubt die Stellung der Pfähle nicht diese Anordnung, alsdann findet sich aber oft Gelegenheit, die Ramme oder den Prahm gegen die bereits fest stehenden Pfähle zu stützen. Man kann auch das Schwanken vermindern, wenn man einen Baum quer über den Prahm legt und unter das hintere Ende desselben einen Nachen bringt, der oft noch beladen wird, um nicht so leicht gehoben zu werden. Dieser Baum wird sowohl an beide Seitenwände des Prahms, als an den Nachen befestigt, und er verhindert die Schwankungen um so vollständiger, in je weiterer Entfernung er den Nachen fafst. Ich habe dieses Mittel vielfach benutzt und dadurch die Schwankungen so vermindert, dafs sie nicht mehr störend waren. Dieselbe Anordnung war auch noch sehr vortheilhaft, wenn ein geringer Wellenschlag statt fand, der ähnliche Schwankungen erzeugt haben würde. Wird dagegen die Nasmythsche Dampframme benutzt, wo die Schläge überaus schnell auf einander folgen, so versetzt dieselbe den Prahm, auf dem sie steht, gar nicht in Schwankung, weil die abwechselnden Aenderungen der Belastung in zu kurzen Perioden sich wiederholen, als dafs der Prahm schnell genug sich senken und wieder heben könnte.

§. 36.
Die Kunstramme.

Wenn man eine Zugramme in Wirksamkeit sieht, und wahrnimmt, dafs die grofse Anzahl der dabei angestellten Arbeiter den gröfsten Theil der Zeit hindurch müfsig stehn, und dafs sie dieser Ruhe auch wirklich bedürfen, indem die Anstrengung während der kurzen Dauer einer Hitze von 40 bis 60 Secunden so grofs ist, dafs eine lange Unterbrechung eintreten mufs, so vermifst man darin den geregelten und gemessenen Gang und die zweckmäfsige Verwendung der Betriebskraft, wodurch die neueren Maschinen sich so vortheilhaft auszeichnen. Man bemerkt auch, dafs die Arbeiter sehr unpassend bei der Zugramme beschäftigt werden, indem die starke Anstrengung, welche so schnell völlige Erschöpfung herbeiführt, unmöglich dem Maximum des Effectes für die ganze Tagesthätigkeit entspricht. Die im vorigen Paragraph angegebenen Erfahrungen zeigen auch, dafs dieses sich wirklich so verhält, und dafs dieselben Arbeiter weit mehr leisten könnten, wenn sie an Kurbeln angestellt wären. Demnächst ist aber die Vereinigung so vieler Menschen zu gleichem Zwecke auch unvortheilhaft, und man hat auf den Baustellen vielfach Gelegenheit, sich davon zu überzeugen, dafs die Leistungen des Einzelnen immer um so geringer werden, mit je mehr Mitarbeitern er zusammenwirken soll: können z. B. zwei Mann ein gewisses Stück Holz noch leicht aufheben, und schnell forttragen, so genügen acht Mann nicht, um ein viermal so schweres Stück zu bewegen. Dieses wiederholt sich in allen Fällen, weil theils die Leistungen weniger gleichmäfsig und übereinstimmend sind, theils aber auch Keiner zum Vortheil der Andern sich anstrengen mag. Hiernach begründet sich die Regel, dafs man die Arbeiter wo möglich immer so anstellen mufs, dafs die Leistung jedes Einzelnen sicher controllirt werden kann und ein Zusammenwirken Vieler, wie bei der gewöhnlichen Ramme, soweit es irgend geschehn kann, vermieden werden mufs.

Hiernach liegt der Gedanke sehr nahe, durch irgend eine mechanische Vorrichtung den Rammklotz zu heben, und dadurch die

Anzahl der Arbeiter an der Ramme zu beschränken. Man hat auch bereits seit langer Zeit vielfache Vorschläge zu diesem Zwecke gemacht und es fehlt keineswegs an Erfahrungen, welche zeigen, daſs man auf diesem Wege zu sehr günstigen Resultaten gelangen kann. In England sind solche Rammen sogar seit mehreren Jahrzehenden ziemlich allgemein eingeführt, nichts desto weniger hat die Zugramme selbst jetzt ihre eifrigen Vertheidiger behalten, und es fehlt auch nicht an Beispielen, daſs Versuche, die man mit Kunstrammen anstellte, miſsglückt sind. Wenn aber ein Versuch ungünstig ausfällt, so folgt daraus keineswegs, daſs die Sache unbedingt verwerflich ist, denn eine unpassende Anordnung oder Mangel an Sorgfalt ist gleichfalls sehr oft die Ursache des Miſsglückens. Die Kunstramme erfordert allerdings in der Unterhaltung einzelner Theile eine gröſsere Sorgfalt, als die gewöhnliche Zugramme. Letztere läſst sich noch immer im Gange erhalten, wenn auch die Läuferruthe stark bestoſsen ist und der Klotz von der einen Seite zur andern schwankt, oder wenn das Nagelloch in der Rammscheibe schon einen Spielraum von mehreren Zollen erhalten hat. Auch wenn die Scheibe vielleicht sich gar nicht mehr dreht, so kann eine stärkere Bemannung dennoch die Ramme in Bewegung setzen. Die Arbeit wird alsdann freilich sehr schwierig und kostbar, es tritt aber keine vollständige Unterbrechung ein. Wenn dagegen bei der Kunstramme der Haken sich ausgeschliffen hat, oder der Klotz nicht sicher und scharf von der Läuferruthe geführt wird, so wird der Klotz gar nicht mehr gefaſst und die Wirkung hört in diesem Falle vollständig auf. Solche Zufälligkeiten lassen sich aber durch dauernde Aufmerksamkeit vermeiden und diese muſs von dem Baumeister, der den Bau leitet, selbst ausgehn, da bei uns die Tagelöhner und selbst die Bauhandwerker in der Behandlung von Maschinen keine Uebung haben.

Es ist bisher nur davon die Rede gewesen, daſs bei der Kunstramme die Arbeiter zweckmäſsiger als bei der Zugramme angestellt werden, ein groſser Vorzug der ersteren beruht aber noch darin, daſs der Klotz höher gehoben und dadurch der Effect der Ramme verstärkt wird. Dieser Umstand bedarf einer näheren Auseinandersetzung, da die gewöhnlichen Voraussetzungen zu einem andern Resultate führen. Wenn man annehmen dürfte, daſs der Widerstand, den der Pfahl der Bewegung entgegensetzt, allein darin

besteht, dafs er der umgebenden Erdmasse seine ganze Geschwindigkeit oder einen gewissen aliquoten Theil derselben mittheilt, so würde sich der Schlufs rechtfertigen, dafs die Fallhöhe des Klotzes der Tiefe proportional ist, zu welcher der Pfahl bei jedem Schlage eindringt, alsdann würde beispielsweise der Effect sich gleichbleiben, wenn der Rammklotz einmal aus der Höhe von 20 Fufs, oder wenn er fünfmal aus der Höhe von 4 Fufs herabfällt. Bei gewissen Erdarten scheint dieses auch wirklich der Fall zu sein, und namentlich haben die vielfachen Beobachtungen, die man über das Einschlagen von Kugeln in Erde und Mauern angestellt hat, ergeben, dafs die Tiefe, zu der sie eindringen, dem Quadrate ihrer Geschwindigkeit proportional ist. Lambert ging in seiner interessanten Untersuchung über das Eindringen der Pfähle *) von diesem Grundsatze aus, und fand denselben durch die Beobachtungen mit trockenem Sande auch bestätigt. Später ist man dieser Annahme gefolgt, ohne ihre Richtigkeit weiter zu prüfen.

Ich liefs das Modell einer Ramme auf einen Pfahl wirken, der in reinem trockenem Sande stand, und es ergab sich, dafs derselbe wirklich bei kleinen Fallhöhen des Klotzes verhältnifsmäfsig eben so tief wie bei gröfseren eindrang. Es zeigte sich auch bei diesem Versuche eine andere Eigenthümlichkeit, die ihn wesentlich von den Erfahrungen unterscheidet, die man beim Einrammen der Pfähle gemacht hat, nämlich die Tiefe, zu der der Pfahl durch eine bestimmte Anzahl von Schlägen mit gleicher Fallhöhe eingetrieben wurde, war beinahe unabhängig von der Tiefe, die der Pfahl bereits erreicht hatte. Betrug letztere z. B. 3 Zoll und bewirkte eine gewisse Anzahl von Schlägen eine Senkung von 1 Zoll, so drang der Pfahl unter denselben Schlägen noch 11 Linien ein, wenn er schon 12 Zoll tief im Boden steckte. Auch bei Anwendung nassen Sandes war die Wirkung jedes Schlages der Fallhöhe des Klotzes proportional, doch nahm der Widerstand sehr merklich bei grofser Tiefe zu.

Bei den Versuchen mit zähem Ton, der so durchnäfst war, wie er in einiger Tiefe unter der Erdoberfläche gewöhnlich vorkommt, zeigte sich dagegen sehr entschieden der Vortheil der gröfseren Hubhöhe. Die Höhen, zu welchen ich den Klotz erhob, betrugen

*) Beiträge zum Gebrauche der Mathematik. Berlin 1772. Bd. III. Seite 456.

2 Zoll und 7 Zoll, ich benutzte auch zwei verschiedene Klötze, um zugleich den Einfluſs eines schwereren Rammklotzes zu ermitteln. Der gröſsere Klotz wog 1,90 und der kleinere 1,08 Loth, sie verhielten sich also sehr nahe wie 7 : 4. Hiernach war in den folgenden vier Fällen die Betriebskraft oder die der Maschine mitgetheilte lebendige Kraft sich gleich, nämlich

a) wenn mit dem gröſseren Klotze 8 Schläge von 7 Zoll Höhe
b) wenn mit demselben Klotze 28 Schläge von 2 Zoll Höhe
c) wenn mit dem kleineren Klotze 14 Schläge von 7 Zoll Höhe und
d) wenn mit demselben Klotze 49 Schläge von 2 Zoll Höhe

gemacht wurden. Es kam darauf an, zu prüfen, ob die Effecte oder die Tiefen, zu welchen der Pfahl eindrang, dieselben waren. Zu diesem Zwecke befestigte ich an das obere Ende des Pfahles einen eingetheilten Maaſsstab, an dem sowohl die Hubhöhe, als die Tiefe des Eindringens abgelesen wurde. Indem der Pfahl aber Anfangs leichter eindrang, als später, so durfte diese Differenz nicht auf das Resultat Einfluſs behalten, ich entfernte sie dadurch, daſs ich in der letzten Hälfte der Beobachtungen die Reihenfolge umkehrte und endlich aus den je vier entsprechenden Beobachtungen das arithmetische Mittel nahm. Die vorstehend gewählte Bezeichnung der verschiedenen Versuche durch *a*, *b*, *c* und *d* ist in der folgenden Zusammenstellung beibehalten.

	Beobachtungsart	Abgelesene Höhe	Senkung des Pfahles
1)	*a*	0,24 Zoll	0,24 Zoll
2)	*b*	0,40 -	0,16 -
3)	*c*	0,53 -	0,13 -
4)	*d*	0,62 -	0,09 -
5)	*a*	0,80 -	0,18 -
6)	*b*	0,92 -	0,12 -
7)	*c*	1,05 -	0,13 -
8)	*d*	1,12 -	0,07 -
9)	*d*	1,17 -	0,05 -
10)	*c*	1,26 -	0,09 -
11)	*b*	1,33 -	0,07 -
12)	*a*	1,45 -	0,12 -
13)	*d*	1,50 -	0,05 -

Beobachtungsart	Abgelesene Höhe	Senkung des Pfahles
14) *c*	1,58 Zoll	0,08 Zoll
15) *b*	1,65 -	0,07 -
16) *a*	1,75 -	0,10 -

Man bemerkt, dafs die Beobachtungen Litt. *a* den gröfsten Effect geben und die Beobachtungen Litt. *d* den geringsten. Die mittleren Werthe sind

für *a* 0,160
- *b* 0,105
- *c* 0,108
- *d* 0,065

Dieselbe Betriebskraft gab also bei dem gröfseren Klotze und bei der gröfseren Hubhöhe einen 2½ mal so grofsen Effect, als wenn der kleinere Klotz zu der kleineren Höhe erhoben wurde, die geringe Differenz zwischen den Werthen für *b* und *c* scheint aber anzudeuten, dafs eine Vergröfserung der Hubhöhe vortheilhafter ist, als eine Vermehrung des Gewichtes des Klotzes.

Das erhaltene Resultat schliefst sich an manche Erfahrungen an, die man oft genug zu machen Gelegenheit hat. Wenn man z. B. in einem beschränkten Raume, wo man einen Hammer nicht gehörig schwingen kann, einen Nagel einschlagen will, so wird man lange Zeit hindurch klopfen müssen, ehe man den Nagel soweit eintreibt, wie durch einen einzigen kräftigen Schlag geschehn wäre. Den Grund davon kann man zum Theil in der starken Reibung suchen, welche nach der Ruhe eintritt. Der Nagel setzt nämlich dem weiteren Eindringen einen gewissen Widerstand entgegen, aber bevor er überhaupt in Bewegung kommt, mufs jene Reibung schon überwunden werden und der Impuls, den er erhält und wodurch er weiter eingetrieben wird, bestimmt sich durch die Differenz zwischen der lebendigen Kraft des Schlages und derjenigen lebendigen Kraft, welche zur Ueberwindung der Reibung nach der Ruhe erforderlich ist. Nun kann es sich treffen, das die letzte beinahe eben so grofs ist, als die erste, und alsdann ist jene Differenz sehr unbedeutend, sie kann sich sogar auf Null reduciren, oder die Wirkung hört ganz auf und alle Schläge werden vergeblich geführt. So bemerkt man beim Rammen, dafs ein Pfahl, der schon ziemlich fest

steht, durch die wiederholten Hitzen von niedrigen Schlägen nicht mehr afficirt wird, während einige stärkere Schläge ihn gleich merklich herabtreiben. Aus den angeführten Versuchen ergiebt sich aber, dafs die Beschaffenheit des Grundes von wesentlichem Einflufs ist. Sobald dem plötzlichen tieferen Eindringen bedeutende Widerstände entgegentreten, so geben wahrscheinlich die nächsten Erdschichten etwas nach, und folgen dem Klotze, wenn er einen schwachen Schlag erhält, ohne sich von ihm zu lösen, und heben ihn wieder an seine frühere Stelle, wenn die Wirkung des Schlages aufhört. Ein stärkerer Schlag dagegen löst die Verbindung und treibt den Pfahl herab. Diese Erklärung steht in naher Beziehung zu einer andern Erscheinung, die man beim Einrammen von Pfählen in zähem und nassem Thone mehrmals beobachtet hat, dafs nämlich bei jedem Schlage der Pfahl zugleich mit seiner nächsten Umgebung sich merklich senkt, aber unmittelbar darauf auch sich wieder erhebt, und daher gar nicht eingerammt werden kann.

Es entsteht die Frage, ob der erwähnte Vortheil der grösseren Hubhöhe sich bei den Kunstrammen wirklich herausstellt, oder ob man ihn nur bei Versuchen im Kleinen bemerken kann. Beim Bau der Brücke zu Neuilly machte schon Perronet die Erfahrung, dafs unter gleichen Umständen der Arbeitslohn für das Einschlagen eines Pfahles mit der Zugramme 13 Livres 15 Sous und mit der Kunstramme 5 Livres 1 Sous 7 Deniers kostete. *) Diese Vergleichung ist indessen insofern nicht entscheidend, als die Kunstramme nicht durch Menschen, sondern durch Pferde in Bewegung gesetzt wurde. Dagegen theilt de Cessart das noch günstigere Resultat mit, dafs beim Bau der Brücke zu Saumur das Einrammen des Pfahles auf 26 Fufs Tiefe durchschnittlich mit der Zugramme 38 Francs 15½ Sous und mit der Kunstramme, die gleichfalls durch Menschen bewegt wurde, nur 12 Francs 13 Sous, also noch nicht den dritten Theil kostete. **)

Als ich bei den Bohlwerksbauten in Pillau eine Kunstramme eingerichtet hatte, liefs ich die gewöhnliche Zugramme, deren Klotz 10 Centner wog und die mit 36 Mann besetzt war, lange Zeit hindurch auf denjenigen Bohlwerkspfahl wirken, woran mit der Kunst-

*) *Description des ponts etc. p.* 75.

**) *Description des travaux hydrauliques. I. p.* 185.

ramme der erste Versuch gemacht werden sollte. Der Pfahl steckte in dem festen Sandboden so tief, daſs er in der einzelnen Hitze zuletzt gar nicht mehr merklich zog, und die 36 Mann in der Arbeitszeit von zwei Stunden ihn keinen Zoll tiefer herabbringen konnten. Nunmehr lieſs ich die Kunstramme darüber stellen, und der erste Schlag des 10¼ Centner schweren Klotzes trieb bei der Fallhöhe von 20 Fuſs den Pfahl ½ Zoll herab, es hatten also in diesem Falle die vier Mann in Zeit von zwei Minuten an der Kunstramme mehr gewirkt, als 36 Mann an der Zugramme in einer Stunde leisten konnten. Dieses Resultat war so überraschend und augenfällig, daſs die Arbeiter ihre Besorgniſs laut aussprachen, sie würden nunmehr die dauernde Beschäftigung an der Ramme verlieren. Später habe ich durch directe Beobachtung den Effect des Schlages, wenn er durch verschiedene Fallhöhen hervorgebracht wird, zu ermitteln versucht. Ich lieſs nämlich, nachdem ein Pfahl schon einigermaſsen fest stand, den Rammklotz zu verschiedenen Höhen heben und beobachtete das Eindringen des Pfahles. Dieses betrug der Reihenfolge nach

1)	bei	10	Schlägen	von	3	Fuſs	Höhe . . .	1,7 Zoll
2)	-	6	-	-	6	-	- . . .	3,9 -
3)	-	4	-	-	9	-	- . . .	5,9 -
4)	-	3	-	-	12	-	- . . .	7,9 -
5)	-	10	-	-	3	-	- . . .	1,7 -
6)	-	6	-	-	6	-	- . . .	3,9 -
7)	-	4	-	-	9	-	- . . .	6,0 -
8)	-	3	-	-	12	-	- . . .	8,0 -

Es ergiebt sich aus der Uebereinstimmung der vier ersten Beobachtungen mit den vier letzten, daſs der Widerstand während des Versuches ziemlich unverändert blieb, und wenn man hiernach die mittleren Werthe für die Effecte der einzelnen Schläge darstellt, so findet man, daſs diese nahe den Quadraten der Fallhöhen proportional sind, und es lassen sich die beobachteten Gröſsen ziemlich genau durch die Formel

$$s = 0{,}018 \, . \, h^2$$

darstellen, wo s die Tiefe bezeichnet, zu welcher der Pfahl eindringt und h die Fallhöhe des Klotzes. Man findet hieraus

für $h = 3$	$s = 0{,}162$	also für	10 Schläge	1,62 Zoll
- $h = 6$	$s = 0{,}648$	- -	6 -	3,89 -
- $h = 9$	$s = 1{,}458$	- -	4 -	5,83 -
- $h = 12$	$s = 2{,}092$	- -	3 -	7,78 -

was mit den Beobachtungen ungefähr übereinstimmt.

In Frankreich stellte Vauvilliers *) einen directen Vergleich zwischen der Leistung der Zugramme und der Kunstramme an. Beide hatten gleich schwere Klötze, nämlich von 641 Pfund, und mit beiden wurden gleiche Pfähle in denselben Boden und gleich tief eingeschlagen. An der Zugramme arbeiteten 22 Tagelöhner und 1 Zimmermann, an der Kunstramme dagegen 4 Tagelöhner und 1 Zimmermann, und bei letzterer wurde der Klotz mittelst der Kurbel durch Rad und Getriebe jedesmal 12¼ Fufs hoch gehoben. Die erste Ramme schlug 48 Pfähle in 28 Tagen ein, die letzte eben so viele in 18 Tagen. Die Kunstramme arbeitete also noch schneller, als die Zugramme, und bei ihr betrugen die Kosten an Tagelohn und Unterhaltung der Geräthe für jeden Pfahl 3,4 Fr., während bei der Zugramme diese Kosten auf 15,3 Fr. stiegen.

Auch verschiedene Erfahrungen aus neuster Zeit haben dasselbe Resultat ergeben. Bei den sehr ausgedehnten Rammarbeiten der Gebäude für die steuerfreie Niederlage in Harburg wurden sowol Zug- wie Kunstrammen benutzt, und zwar beide nur durch Menschenkraft bewegt. Die schliefsliche Berechnung ergab, dafs die Kosten bei Anwendung der Kunstramme sich zu denjenigen der Zugramme nahe wie 4 zu 7 verhielten. **) Man darf dabei jedoch nicht unbeachtet lassen, dafs der Vortheil der Kunstramme nicht früher eintritt, als bis der Pfahl so tief eingedrungen ist, dafs man den Rammklotz darüber bis zu einer angemessenen Höhe erheben kann, auch der Pfahl dem weiteren Eindringen einen gröfseren Widerstand entgegensetzt. Beim Bau der Brücke über den Cher neben Saint-Amand ergab sich ***), dafs das Setzen und das anfängliche Eintreiben der Pfähle mittelst der Zugramme weniger Kosten verursachte, als mit der Kunstramme, und dafs der Vorzug der letztern sich nicht frü-

---

*) *Traité élémentaire de mécanique industrielle par Flachat.* Paris 1835. *pag.* 43.

**) Zeitschrift des Hannöverschen Architekten- und Ingenieur-Vereins. 1860. S. 288.

***) *Annales des ponts et chaussées* 1858. *I. pag.* 319.

her zeigte, als bis die Pfähle ungefähr 11 Fuſs tief in den leichten Boden eingedrungen waren. Es dürfte sich sonach wohl diejenige Anordnung empfehlen, die ich in Pillau getroffen hatte, daſs nämlich mit einer hohen Zugramme, die jedoch nur einen leichten Klotz hatte, die Pfähle gesetzt und so tief herabgeschlagen wurden, bis sie in der gewöhnlichen Hitze nur noch etwa 4 Zoll eindrangen, daſs alsdann aber die Kunstramme sie bis zur erforderlichen Tiefe einschlug.

Es ergiebt sich hieraus, daſs die Kunstramme vergleichungsweise zur Zugramme in doppelter Beziehung die Leistung der dabei angestellten Arbeiter vermehrt, nämlich einmal gestattet sie eine angemessene Kraftäuſserung, wodurch die ganze Tagesthätigkeit des einzelnen Arbeiters sich vergröſsert, und sodann bewirkt der höhere Hub des Rammklotzes verhältniſsmäſsig ein tieferes Eindringen des Pfahles, woher der Effect gegen die Betriebskraft sich gleichfalls günstiger herausstellt. Es ist sonach in ökonomischer Beziehung vortheilhaft, sich der Kunstramme zu bedienen, und wenn die Pfähle sehr fest eingeschlagen werden sollen, so kann man durch sie die Hälfte bis zwei Drittheile des Arbeitslohnes ersparen. Dagegen gewährt die Zugramme den Vortheil, daſs man mehr Arbeiter dabei anstellen kann, und wenn man sonach auf eine gewisse Anzahl von Rammen beschränkt ist, und die möglichste Beschleunigung in diesem Theile der Arbeit erfordert wird, so kann es allerdings zuweilen zweckmäſsig sein, die Kunstrammen zu vermeiden. Nichts desto weniger dürften solche Verhältnisse sich nicht leicht wiederholen und wenigstens bei gröſseren Bauten wohl nie vorkommen.

Bei den Kunstrammen wird der Klotz mittelst einer mechanischen Vorrichtung durch verschiedene Haken gehoben, in einer gewissen Höhe löst sich diese Verbindung, der Klotz stürzt frei herab, und gemeinhin folgt ihm alsdann der Haken, um ihn aufs Neue zu fassen. Wird die Ramme durch Menschenkraft bewegt, so pflegt man, um den ganzen Apparat möglichst einfach darzustellen, die Arbeiter eine Kurbel drehen zu lassen, doch geschieht dieses zuweilen auch in andrer Weise. So waren beim Bau des Aquaducts über den Potamac zwei Kunstrammen im Gange, an jeder wog der Klotz 1300 Pfund und konnte 40 Fuſs herabfallen. Die eine, die mittelst einer Kurbel durch 8 Mann bewegt wurde, machte nur alle 7½ Minute einen Schlag und die andere, die durch 6 Mann in Be-

9*

wegung gesetzt wurde, welche auf einem Tretrade gingen, schlug alle $1\frac{1}{4}$ Minute einmal, weshalb man später die erste Ramme auch mit einem Tretrade versah. *) In Frankreich hat man mehrfach auch andere Betriebskräfte und namentlich die Pferdekraft zu diesem Zwecke angewendet. So liefs Perronet schon die Winde, die den Klotz hob, durch ein Pferd in der Art in Bewegung setzen, dafs dieses ein Tau von einer Trommel abwickelte und dadurch die letztere drehte. Bei den Bauten im Kriegshafen zu Lorient wurden zwei Kunstrammen durch Pferdegöpel in Bewegung gesetzt, und beim Bau der Brücke zu St. Maxence liefs Perronet die Ramme durch ein Wasserrad treiben. In England sind Kunstrammen schon seit langer Zeit theils durch besondere Dampfmaschinen, theils aber durch Locomobilen in Bewegung gesetzt, gegenwärtig geschieht dieses auch bei uns und anderweitig nicht selten, besonders wenn Rammarbeiten in grofser Ausdehnung ausgeführt werden.

Zunächst mag hier die sehr einfache Kunstramme beschrieben werden, die ich nach dem Muster einer in Hull benutzten, in Pillau einrichtete und die ich bis zu meinem Abgange von dort mit sehr günstigem Erfolge bei allen dortigen Bohlwerks-Bauten gebrauchte. Sie hat vor den übrigen, von denen weiterhin die Rede sein wird, den Vorzug, dafs sie mit sehr geringen Kosten (etwa 30 Thaler) aus einer gewöhnlichen Zugramme dargestellt war.

Der wichtigste Theil des Apparates ist der Haken, welcher den Klotz hebt und in einer gewissen Höhe ihn wieder fallen läfst. Derselbe ist Fig. 190 *a*, *b* und *c* dargestellt, *a* zeigt ihn von der Seite, dicht über dem Klotze schwebend, in dessen Bügel er bei fernerer Senkung von selbst eingreift, *b* ist die Ansicht von vorn und *c* von oben. In der letzten Figur sind zugleich die Läuferruthen im Querschnitte sichtbar. Der Haken mufs so ausgeschnitten sein, dafs er an der untern Seite eine schräge Fläche bildet, welche beim Aufstofsen auf die Oese des Rammklotzes sich zurücklegt und dadurch ein Eingreifen in dieselbe möglich macht. Oben ist dagegen der Haken concav ausgefeilt, doch mufs diese Krümmung einem Kreisbogen entsprechen, dessen Mittelpunkt in der Drehungsachse des Hakens liegt, weil er nur in diesem Falle sicher die Oese fafst und sie leicht hinausgleiten läfst, sobald er zurückgezogen wird.

*) *Civil Engineer and Architect's Journal. I. p.* 150.

An den Haken sind zwei Arme angeschmiedet, von denen der kürzere das Gegengewicht trägt, welches den Haken einstellt, der längere dient dazu, ihn zu lösen, sobald der Klotz hoch genug gehoben ist. Der letzte greift durch einen Schlitz in dem unteren Theile des Fallblockes hindurch und sichert dadurch nicht nur dem Haken die feste Stellung, sondern verhindert auch, daſs nicht etwa das Gegengewicht ihn zu weit umdreht. Eine Schiene, die sich wieder in der Linie befindet, welche durch den Schwerpunkt des Klotzes parallel zur Läuferruthe gezogen ist und daher mit der Richtung des Rammtaues zusammenfällt, trägt den Haken. Oben ist sie mit einer Kausche versehen, woran das Rammtau angesteckt ist. Der hölzerne Klotz am Haken oder der Fallblock *(the follower)* greift zwischen die beiden Läuferruthen hindurch und wird rückwärts durch ein Brettstück, welches die Stelle der Riegel an den Armen des gewöhnlichen Rammklotzes versieht, gehalten. Diese Befestigung muſs, wie die Figur zeigt, möglichst hoch angebracht werden, indem sie alsdann beim Herabfallen des Blockes die schräge Stellung des letzten verhindert, wobei dieser eine starke Reibung erfahren würde. Beim Aufsteigen wird dagegen der Fallblock durch das überwiegende Gewicht des Rammklotzes in der gehörigen Richtung erhalten, wodurch jedes Klemmen vermieden wird.

Der abwärts gerichtete Theil des Fallblockes, der unten mit einem eisernen Ringe beschlagen ist, muſs so lang sein, daſs, wenn er auf dem Klotze aufsteht, der Haken bereits in die Oese eingetreten ist, ohne jedoch weder diese noch die Oberfläche des Klotzes zu berühren. Sobald der Fallblock nunmehr aufgewunden wird, so hebt er den Klotz mit sich, bis der längere Arm am Haken herabgedrückt wird, worauf der Rammklotz sich löst und herabstürzt. Das Herabdrücken dieses Armes geschah Anfangs übereinstimmend mit der in Hull vorkommenden Einrichtung durch eine Leine, welche an die Schwelle der Ramme befestigt wurde. In einer gewissen Höhe zog sich diese Leine von selbst steif, drehte den Haken und löste den Klotz. Es trat jedoch hierbei der Uebelstand ein daſs die Leine leicht in Unordnung kam, sie legte sich oft zwischen die Arme des Klotzes und die Läuferruthe, oder klemmte und verwickelte sich an andern Theilen des Apparates, so daſs sie häufig riſs und noch öfter den Klotz löste, bevor er hoch genug gehoben war. Ich brachte daher die Aenderung an, daſs ich den

erwähnten Arm am Haken eben so weit als die Arme des Rammklotzes verlängern liefs und etwas unter derjenigen Höhe, welche der Fallblock überhaupt erreichen durfte, einen Bügel anbrachte. An diesen stiefs der Arm und wurde dadurch herabgedrückt. Auf solche Art konnte die Leine nicht nur entbehrt werden, sondern ich erreichte auch noch den Vortheil, dafs das Auslösen des Klotzes immer möglichst spät erfolgte und letzterer dadurch jedesmal von der gröfsten Höhe herabstürzte, die er nach Maafsgabe des Rammgerüstes überhaupt erreichen konnte.

Die Vorrichtung zum Aufwinden und Herablassen des Fallblockes zeigt Fig. 191 *a* und *b* in der Ansicht von der Seite und von oben. Die Zusammensetzung dieses Theils des Apparates bestimmte sich hauptsächlich durch das Rad und Getriebe, welches am schnellsten zu beschaffen war. An einen starken Rahmen aus eichenen Bohlen, der durch zwei Riegel und zwei Schraubenbolzen verbunden war, wurde die Windevorrichtung befestigt, woran das Rammtau herabgezogen werden sollte. Bei dem starken Zuge, den das letztere aufwärts ausübt, kam es darauf an, nicht nur die Pfannen der Winde vor einem Ausheben gehörig zu sichern, sondern auch den Rahmen selbst zurückzuhalten. Letzteres geschah in der Art, dafs ein Stück Halbholz unter die Schwelle der Ramme neben den Läuferruthen untergeschoben wurde. Auf diesem ruhte der Rahmen, und eine um dessen beide Riegel geschlungene Kette, die noch durch zwischengetriebene Keile gespannt wurde, hielt ihn sehr sicher in seiner Lage. Endlich wurde noch das hintere Ende des Halbholzes durch Klötze oder Steine beschwert. Die Pfannendeckel für die Achse der Winde wurden, wie die Figur zeigt, durch zwei Schraubenbolzen an jeder Seite gehalten, welche durch den Rahmen griffen. Die Achse des Getriebes wird bei der Richtung, in welcher das Tau aufgewunden ist, abwärts gedrückt und sonach kommt ein Heben derselben nicht vor.

Indem das Getriebe nicht immer in das Rad eingreifen darf, sondern gelöst werden mufs, sobald der Klotz herabgestürzt ist und der Fallblock demselben folgen soll, so ruht seine Achse auf einer Seite in einer Gabel und auf der andern in einem Loche in einem Hebel. Letzterer kann über einer Latte, die an den Rahmen genagelt ist, hin- und hergeschoben werden, und jenachdem er in der einen oder andern Kerbe ruht, ist das Getriebe im Eingriffe oder frei. Das Getriebe hatte 10 und das Rad 46 Zähne. An jede

Kurbel, deren Länge 15 Zoll betrug, konnte ich nur je zwei, also zusammen nur vier Mann anstellen und sonach durfte die Walze, um welche das Rammtau sich aufwindet, nur 8 Zoll im Durchmesser halten, weil sonst die Last für die Arbeiter zu grofs geworden wäre. Hieraus ergab sich der Uebelstand, dafs die Steifigkeit des Taues schon ein merkliches Hindernifs der Bewegung entgegensetzte, und was noch übler war, das Tau litt sehr stark und rifs schon nach kurzem Gebrauche. Ich sah mich daher wieder gezwungen, von dem besten Hanf zu diesem Zwecke Taue von 1 Zoll Durchmesser spinnen zu lassen, und diese zeigten sich so dauerhaft, dafs sie jedesmal mehrere Monate hindurch benutzt werden konnten.

Sobald der Rammklotz herabgefallen war, so durfte man nicht ohne Weiteres das Getriebe auslösen, denn in diesem Falle stürzte der Fallblock mit grofser Heftigkeit herab und ertheilte der Winde eine so starke Drehung, dafs das ganze Tau ablief und das hintere Ende desselben sich verkehrt aufwand, wodurch nicht nur ein bedeutender Zeitverlust entstand, sondern auch das Tau, besonders da, wo es mit der Kramme an die Walze befestigt war, beschädigt wurde. Es mufste sonach diesem Uebelstande durch eine Bremsvorrichtung vorgebeugt werden, welche die beiden Figuren zeigen. Sobald einer von den vier Arbeitern an der Kurbel das Getriebe auslöste, so drückte der andre die Bremse auf die Winde, so dafs diese sich nur mit mäfsiger Geschwindigkeit und nur so weit bewegte, bis der Fallblock auf dem Klotze aufstand.

Was den Betrieb der Ramme betrifft, so hatte ich um alle Pausen zu vermeiden, sechs Mann dabei angestellt, von denen jedoch nur vier die Kurbeln drehten, während zwei ausruhten, um nach kurzer Zwischenzeit zwei der Ersten abzulösen. Es war aber die Bedingung gemacht, dafs die Arbeit nie unterbrochen werden durfte und dieses liefs sich leicht controlliren, da die starken Schläge der Kunstramme sehr weit zu hören waren. In einer Minute erfolgten 38 Umdrehungen der Kurbel, oder der Klotz wurde um 19½ Fufs gehoben. Von dem Augenblicke ab, wo sich der Klotz löste, bis zum Wiederbeginne des Drehens der Kurbel vergingen aber 50 bis 60 Secunden, sonach wurden durchschnittlich in der Stunde 25 Schläge gemacht. An einem Tage konnten 2¼ Pfähle nachgeschlagen werden, während die mit 36 Mann besetzte Zugramme durchschnittlich 4 solcher Pfähle nachschlug. Der Arbeitslohn für das

Nachschlagen der Pfähle betrug bei der Zugramme für jeden Pfahl 3 Thlr. 4 Sgr. und bei der Kunstramme sehr genau 1 Thlr. Die Ersparung würde also für den Pfahl 2 Thlr. 4 Sgr. betragen haben, sie stellte sich aber wirklich noch höher heraus, indem die Pfähle durch die Kunstramme fester und tiefer eingerammt wurden, als mit der Zugramme. Endlich mufs noch bemerkt werden, dafs besondere Reparaturen bei diesem Apparate nicht häufig vorkamen und die Unterhaltungskosten für Tauwerk, Schmiedearbeit u. dergl. sogar merklich geringer ausfielen, als bei der Zugramme. Die Pfähle wurden unter dem Rammklotze, der aus Eichenholz bestand, auch nicht beschädigt, wenn sie vorher gerade abgeschnitten und die Kanten am Kopfe gebrochen waren.

Es zeigte sich beim Aufstellen dieser Ramme noch der Uebelstand, dafs die beiden Läuferruthen, die nur aus Bohlen bestanden, nicht steif genug waren, um den Rammklotz und den Fallblock sicher in der gehörigen Lage zu halten, daher geschah es häufig, dafs bei einigem Spielraum in dem Schlitz der Ruthe der Klotz sich etwas nach der einen Seite drehte und der Block nach der andern, wodurch das Eingreifen des Hakens verhindert wurde. Diesen Uebelstand, der durch stärkere Läuferruthen zu beseitigen gewesen wäre, entfernte ich durch einen Bügel, der beide Ruthen in der halben Höhe in gehöriger Entfernung von einander hielt Er war aus 1¼zölligem Rundeisen geschmiedet und stand so weit von den Ruthen ab, dafs die Arme des Rammklotzes nebst den Riegeln frei hindurchgehn konnten. Fig. 192 zeigt ihn, und es mufs noch bemerkt werden, dafs er in der Art eingesetzt wurde, dafs man zunächst die beiden Ruthen etwas auseinander bog und die vier Bolzen einbrachte. Indem diese sich mit den Köpfen berührten, konnte der Bügel eingezogen werden und alsdann schob man durch letzteren die Bolzen hindurch. Auf diese Art erhielten die schwachen Ruthen eine hinreichende Steifigkeit und der Klotz, sowie der Block spielten sehr regelmäfsig, so dafs das Eingreifen des Hakens nie versagte, aufser wenn vielleicht nach Monaten der Haken sich etwas ausgeschliffen hatte und er alsdann beim ersten Anziehn sich aus der Oese des Klotzes auslöste. In diesem Falle mufste ihm die frühere Krümmung durch Abfeilen wieder gegeben werden.

Die Ramme, die man beim Bau der Docks in Hull benutzte, war mit einem Haken versehn, der mit dem beschriebenen nahe

übereinstimmte. Er ist Fig. 193 auf Taf. XV in der Ansicht von vorn und von der Seite dargestellt. Der Fallblock besteht gleichfalls aus Holz und zwar aus zwei Klötzen, welche durch zwei Bolzen mit einander verbunden sind. Bei dieser Ramme verdient die Befestigungsart des Klotzes gegen die Läuferruthe einer besondern Erwähnung. Der Klotz, der in beiden Ansichten unter dem Fallblocke gezeichnet ist, besteht aus Gufseisen und statt der Arme sind zwei Bolzen hindurchgezogen, die am hintern Theile abgedreht sind und zugleich die Achsen für hölzerne Walzen bilden. Diese Walzen bewegen sich in dem Schlitze zwischen den Läuferruthen, um die Reibung zu vermindern. Endlich sind hinter den Walzen noch Scheiben aus Eisenblech von 11 Zoll Durchmesser und $\frac{1}{2}$ Zoll Stärke aufgezogen und festgeschroben, welche theils das Abfallen und theils das Austreten der Walzen aus den Läuferruthen verhindern. Die letztern sind sowohl hinten als vorn mit eisernen Schienen beschlagen und eine Walze nebst Scheibe, die der beschriebenen gleich ist, befindet sich auch am Fallblocke, um dessen Bewegung zu erleichtern und zu sichern. Der Rammklotz wog 1200 Pfund und wurde mittelst einer eisernen Winde durch 4 Mann 20 bis 30 Fufs hoch gehoben. Um das Spalten und Zerschlagen der Pfähle zu verhindern, wurde der Kopf eines jeden Pfahles etwas conisch zugeschnitten und ein starker eiserner Ring von 4 Zoll Höhe und 1 Zoll Stärke aufgetrieben. Nach den ersten Schlägen des Klotzes war das Holz, soweit es vor diesem Ringe vorstand, zerschlagen, aber weiter konnte der Pfahl auch nicht beschädigt werden, und sobald er bis zur gehörigen Tiefe eingerammt war, schnitt man das obere Ende ab, worauf der Ring wieder für die folgenden Pfähle benutzt wurde.

Häufig sieht man in England die in Fig. 195 dargestellte Einrichtung der durch Menschenkraft getriebenen Kunstrammen. Die Rüstung unterscheidet sich von der in England üblichen Zugramme dadurch, dafs die beiden Querschwellen vor die vordere Langschwelle vortreten, und aufserhalb der letzteren die beiden Läuferruthen umfassen, die eine Schere bilden und so oft es nöthig ist, unter die Verschwellung herabreichen. Der gufseiserne Rammklotz ist nicht mit vortretenden Armen, sondern an beiden Seiten mit ausgehobelten Rinnen versehn, und diese umfassen die gleichfalls sorgfältig bearbeiteten Eisenschienen von quadratischem Querschnitt, die mittelst versenkter Holzschrauben an die innern Seiten der Läuferruthen be-

festigt sind. Diese Schienen liegen jedoch nicht in ihrer ganzen Länge parallel, sondern oben treten sie viel näher an einander, wie die Figur zeigt. Der Fallblock, der Fig. 194 *a* in der Seiten-Ansicht, *b* im horizontalen und *c* im verticalen Querschnitt dargestellt ist, besteht gleichfalls aus Gufseisen, und ist, wie *c* zeigt, übereinstimmend mit dem Rammklotze mit den Seitenrinnen versehn, in welche die Leitschienen eingreifen. In ihm befindet sich eine Zange, deren beide Arme abwärts hakenförmig gekrümmt sind, oben dagegen eiserne Rollen tragen, die mit ihren vorstehenden Rändern gleichfalls die Leitschienen umfassen. Diese Rollen bilden ein starkes Uebergewicht und halten daher die Zange geschlossen, so lange sie sich weit genug von einander entfernen können. Steht der Rammklotz nach einem so eben erfolgten Schlage auf dem Pfahle auf, und fällt der Fallblock auf ihn herab, so öffnet die Oese des Klotzes die Zange, doch schliefst sich die letztere sogleich wieder, sobald die Haken sich in der Oese befinden. Wird nun die Kette aufgewunden so erhebt sich der Klotz und zwar so lange, bis die beiden Leitschienen am obern Ende der Läuferruthen die parallele Richtung verlassen und die beiden Rollen an der Zange einander nähern, worauf letztere sich öffnet und den Klotz fallen läfst. Bei dieser Maschine mufs noch auf das Schwungrad aufmerksam gemacht werden, welches sich an der Kurbel befindet, und das insofern sich rechtfertigt, als die Arbeiter bei den verschiedenen Stellungen einer Kurbel sehr verschiedener Kraftäufserung fähig sind.

Bei den bisher beschriebenen Kunstrammen wird jedesmal der Betrieb unterbrochen, sobald der Klotz herabfällt, und es mufs alsdann die Winde, welche die Kette anzog, zurückgedreht werden, bis der Haken am Fallblock wieder die Oese gefafst hat. Um diese bei jedem Schlage sich wiederholende Unterbrechung zu vermeiden, hat man verschiedentlich Rammen erbaut, bei denen eine continuirliche Bewegung der Betriebswelle und zwar stets in derselben Richtung statt findet. Diese Maschinen sind indessen so complicirt, dafs man sie wohl nicht auf gewöhnlichen Baustellen darzustellen im Stande ist, vielmehr können sie nur in Maschinenbau-Anstalten construirt werden. Eine specielle Beschreibung derselben ist daher hier entbehrlich, und es wird genügen, ihre Einrichtung in allgemeinen Umrissen anzugeben.

Am einfachsten ist unter diesen Rammen diejenige, auf welche

J. Bower im Jahre 1853 in England patentirt wurde. *) Eine Kette ohne Ende wird durch eine Trommel in Bewegung gesetzt, in ihr sind in gewissen Abständen eiserne Kegel eingeschaltet, die beim Aufsteigen die Basis nach oben und die Spitzen nach unten gekehrt haben. Damit die Kette der Bewegung der Trommel folgt, muſs sie mehrmals um diese geschlungen sein, und alsdann legt sich jede neue Windung an die Seite der nächst vorhergehenden, woher die Kette bald über das Ende der Trommel herabfallen würde, wenn diese ganz cylindrisch gestaltet wäre. Aus diesem Grunde ist die Trommel an der Seite, wohin die Windungen vorrücken, mit einem stark vortretenden Rande versehn, neben dem die Seitenbewegung der Kette aufhören muſs. Von dieser Trommel wird die Kette über eine Rolle zwischen die Läuferruthen geleitet, und über eine zweite Rolle am obern Ende der letzteren geht sie zur Winde zurück. Sie steigt also zwischen den beiden Läuferruthen auf, ohne vor dieselben vorzutreten.

Der guſseiserne Rammklotz greift mit einem angegossenen Arme, der eben so lang ist, wie er selbst, durch die Läuferruthen hindurch und wird rückwärts durch eine angeschrobene Platte gehalten. Der Arm ist in der ganzen Höhe durchbohrt, und zwar so weit, daſs die Kette mit den kegelförmigen Ansätzen hindurch gezogen werden kann, ohne daſs die letzteren die Wandungen berühren. Der Klotz trägt in seiner obern ebenen Fläche eine darauf liegende Zange, die durch einen vertikalen starken Bolzen, um welchen ihre beiden Arme sich drehn, an ihm befestigt ist. Diese Arme greifen, wie bei der gewöhnlichen Schere, über einander, so daſs die Zange, deren kürzere Arme über jener Oeffnung im Rammklotze sich befinden, sich öffnen, sobald die längeren, die über diesen hinausgreifen, aus einander gedrückt werden. Dieses Trennen der Arme erfolgt durch eine keilförmige Eisenplatte, die man in solcher Höhe an die Läuferruthen schraubt, daſs der Klotz, nachdem er auf den Pfahl herabgefallen ist, möglichst bald von dem folgenden kegelförmigen Ansatze gefaſst wird. Die Zange wird durch eine Feder geschlossen und in solcher Stellung gehalten, daſs jeder kegelförmige Ansatz sich unter sie legt und sie zugleich mit dem Klotze hebt, bis der Keil die Zange öffnet, und worauf sie wieder mit dem Klotze herabstürzt.

---

*) *Civil Engineer and architect's Journal. XVII.* 1854. *p.* 373. Der Beschreibung ist auch eine ziemlich klare Zeichnung beigefügt.

Um die Kette gehörig zu spannen, kann die obere Rolle mittelst einer Schraube gehoben und gesenkt werden, doch auch dieses genügt nicht, indem die Kette sich bald mehr, bald weniger auf den ansteigenden Rand der Trommel auflegt, daher ist auch die untere Rolle beweglich und wird durch eine starke Feder dauernd herabgedrückt.

Obwohl diese Ramme verschiedentlich Anwendung gefunden hat, so ist doch die mehrfache, gewöhnlich dreimalige, Umschlingung der Kette um die Trommel höchst nachtheilig, weil die Kette dabei bis an den erhöhten Rand rückt, und von diesem stofsweise zurückgleitet. Aufserdem ist es auch nicht vortheilhaft, dafs der Klotz nicht über seinem Schwerpunkte, sondern seitwärts gefafst und gehoben wird.

Der erste dieser Uebelstände ist in der Ramme von Sissons und White vermieden, die in England vielfach wie zum Beispiel beim Umbau der Westminster Brücke, und so auch in Bremen bei Erbauung der Entwässerungs-Schleuse des Blocklandes benutzt ist, und die sehr günstige Resultate gegeben haben soll. Sie ist für den Betrieb durch Dampf eingerichtet, steht auf einem Wagen, der auf einer Eisenbahn läuft, und kann aufserdem um einen starken Zapfen gedreht werden, so dafs sie beim Vorrücken eine Reihe Pfähle und beim Rückgange auf derselben Bahn parallel zur ersten Reihe eine zweite eintreibt. Die Kette ohne Ende, welche den Rammklotz hebt, ist eine sogenannte Vaucansonsche Kette, deren Glieder abwechselnd aus einer und zweien durchbohrten Scheiben bestehn die durch Bolzen mit einander verbunden sind. Indem die Zähne eines Stirnrades zwischen die Doppel-Platten eingreifen, so wird die Kette schon sicher gefafst, wenn sie auch nur auf einem Quadranten des Rades aufliegt, sie bleibt also stets in derselben Ebene, und ihre Bewegung ist gleichmäfsiger und sicherer als bei der Bowerschen Ramme. Die Kette läuft wieder über zwei Rollen, von denen eine am Fufse und die andre am Kopfe der Läuferruthen angebracht ist, und von denen die letztere gleichfalls durch eine Schraube verstellt werden kann, um der Kette die nöthige Spannung zu geben.

Die Kette befindet sich hier sogar hinter der Läuferruthe und entfernt sich daher noch mehr von dem Schwerpunkte des Rammklotzes. Sie ist durch die hintern Enden der beiden Arme des Rammklotzes hindurchgezogen und an dem obern sind zwei Rollen ange-

bracht, die sich gegen die Rückseite der Ruthen lehnen, um die Reibung zu vermindern.

Aus dem Klotze tritt ein horizontaler Riegel gegen die Kette, der mittelst einer excentrischen Scheibe, gegen welche er sich lehnt, vor und zurückgeschoben werden kann. Die Achse dieser Scheibe trägt zur Seite des Klotzes zwei Arme, an einen derselben ist eine Leine angesteckt, welche, durch einen besonders dazu angestellten Arbeiter angezogen wird, sobald der Riegel in die Kette geschoben, und der Klotz gehoben werden soll. Der andere Arm stöfst dagegen in einer gewissen Höhe an einen Daumen, der an die Läuferruthe geschroben ist, wird von diesem gedreht und zieht dadurch den Riegel zurück, worauf der Klotz herabstürzt. *)

Die verschiedenen Arten der Kunstrammen werden in neuerer Zeit häufig durch Dampf betrieben, und zwar entweder durch kleine Dampfmaschinen, die zu diesem Zwecke besonders bestimmt und auf die Verschwellung der Ramme gestellt werden, während letztere alsdann auf Rädern ruht und auf einem weitspurigen Eisenbahn-Geleise läuft, oder noch häufiger benutzt man eine Locomobile, welche mittelst einer Riemscheibe die Winde der Ramme treibt. Besonders vortheilhaft zeigt sich die Anwendung der Dampfkraft, wenn die Bewegung der Winde nicht bei jedem Schlage unterbrochen werden darf, vielmehr wie bei den zuletzt beschriebenen Kunstrammen die Winde in continuirlicher Drehung erhalten wird.

Eine eigenthümliche Dampframme, in welcher die ganze Dampfmaschine unmittelbar auf dem einzutreibenden Pfahle ruht und diesen belastet, während die Schläge des mit der Kolbenstange fest verbundenen Klotzes sich überaus schnell wiederholen, verdient noch erwähnt zu werden, wenn auch die Beschreibung aller Details derselben nicht hierher gehört.

Nach manchen Erfahrungen ist es wenigstens bei gewissen Bodenarten vortheilhaft, die Rammarbeiten schnell fortzusetzen, und zwischen den einzelnen Schlägen keine langen Pausen eintreten zu lassen, wobei der Pfahl sich fester mit der umgehenden Erde verbindet, und alsdann zum weitern Eindringen eines stärkeren

*) Ausführliche Beschreibung und Zeichnung dieser Maschine ist in der Zeitschrift des Hannöverschen Architekten- und Ingenieur-Vereins Bd. XII. 1866. Seite 418. mitgetheilt.

Stoſses bedarf. Man darf hiernach vermuthen, daſs die Arbeit erleichtert werden kann, wenn die Schläge sich sehr schnell folgen, und eigentlich den Pfahl gar nicht zur Ruhe kommen lassen, bis er die volle Tiefe erreicht hat. Dieses geschieht gewissermaaſsen bei der Dampframme von Nasmyth, die, wenn die ersten Mittheilungen über ihre Wirksamkeit auch übertrieben waren, sich doch bei dauernder Benutzung als eine sehr brauchbare Maschine bewährt hat, namentlich wenn ausgedehnte Rammarbeiten möglichst beschleunigt werden sollen.

Sie wurde zuerst bei den Hafenbauten in Devonport im Jahre 1845 angewendet, wo die 60 bis 70 Fuſs langen Pfähle in 2 bis 3 Minuten 32 bis 40 Fuſs tief eingerammt sein sollen. Beim Bau der High-Level Brücke bei Newcastle, so wie der Docks in Plymouth und des Viaducts über den Tweed bei Berwick stellte sich heraus, daſs die Pfähle nach der Beschaffenheit des Grundes in einer Minute 5 bis 10 Fuſs tief eindrangen. Rob. Stephenson erklärte nach den von ihm gemachten Erfahrungen diese Ramme für eine der wichtigsten Maschinen, die in neuerer Zeit zur Erleichterung von Bauausführungen erfunden wären. *) Die Ramme wurde bald an verschiedenen andern Orten versucht, auch in der Nähe von Berlin geschah dieses, indem eine solche, in der Maschinenbauanstalt von A. Borsig erbaut, zum Einschlagen einer ausgedehnten Pfahlwand am Ufer der Spree vor dem Hüttenwerke bei Moabit benutzt wurde. Sie trieb die Pfähle mit überraschender Geschwindigkeit ein, so daſs Nasmyth's Aeuſserung, die Pfähle drängen eben so schnell in den Grund, wie man eine Stecknadel in ein Nadelkissen zu stecken pflege, sich nicht weit von der Wahrheit entfernte, wogegen freilich der viel gröſsere Zeitaufwand zum Verstellen der Ramme und zum Setzen eines neuen Pfahles sehr auffallend war. Auſserdem treten dabei auch noch andere und zwar sehr bedeutende Unterbrechungen ein. Die starken Erschütterungen verursachen nämlich, aller Vorsicht in der Construction ohnerachtet, häufige Brüche einzelner Theile, oder sonstige Beschädigungen der Maschine, so daſs man dieselbe nicht benutzen kann, ohne eine gehörig eingerichtete Werkstatt in der Nähe zu haben, und selbst in diesem Falle dürfte es immer gerathen sein, die am meisten einer Gefahr ausgesetzten Theile doppelt an-

*) *The Civil Engineer and Architect's Journal.* 1848. *p.* 289.

zufertigen, um bei einer Beschädigung sie sogleich auswechseln zu können. Auf einer Baustelle, wo auch diese Vorsicht angewendet wurde, traten dennoch Unterbrechungen behufs Reparaturen so oft und zum Theil so lange ein, dafs sie ungefähr den vierten Theil der ganzen Zeit einnahmen, während welcher die Maschine aufgestellt war. Anfangs war das Verhältnifs aber noch viel ungünstiger gewesen.

Die Einrichtung dieser Rammen ist in mehreren technischen Zeitschriften beschrieben.*) Ihre Anordnung schliefst sich im Allgemeinen dem Nasmyth'schen Dampfhammer an, der schon früher auf gröfsern Hüttenwerken und Maschinenbau-Anstalten eingeführt war. Wie bei diesem die Eisenmasse, welche den Hammer bildet, unmittelbar an den Kolben des Dampfcylinders gehängt ist, so trägt auch bei der Dampframme die Kolbenstange unmittelbar den schweren Rammklotz. Hierbei tritt indessen die Schwierigkeit ein, dafs der Dampfcylinder immer in gleicher und bestimmter Höhe über dem Pfahlkopfe schweben, oder in dem Maafse, wie letzterer herabsinkt, sich gleichfalls senken mufs. Dieses ist dadurch erreicht, dafs der Dampfcylinder mit einem Gehäuse aus starkem Eisenblech verbunden ist, worin der Klotz spielt, dieses Gehäuse aber auf dem Kopfe des einzurammenden Pfahles aufsteht. Das Dampfrohr mufs hiernach flexibel sein, um bei allen Stellungen des Cylinders denselben mit dem fest stehenden Dampfkessel zu verbinden.

Eine starke Rüstung, die bei der nach Dirschau gelieferten Ramme 15 Fufs lang und 13 Fufs breit ist, steht mit vier Rädern auf einer Eisenbahn und trägt die ganze Maschine. Auf der hintern Seite dieser Rüstung liegt der Dampfkessel, der wie ein Locomotivkessel eingerichtet ist. In der Mitte der vordern Seite steht dagegen die Läuferruthe, die seitwärts durch Zugstangen und rückwärts durch einen starken gufseisernen Rahmen gehalten wird. Sie ist 45 Fufs hoch und 14 und 12 Zoll stark. Zwei starke Schienen, die auf ihrer vorderen Fläche befestigt sind, treten auf beiden Seiten 1 Zoll weit vor, und dienen zur Führung des erwähnten Gehäuses,

*) Förster's allgemeine Bauzeitung. XV. Jahrgang. 1850. Seite 4. — Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleifses in Preufsen. Jahrgang 1848. S. 151. Die letzte Beschreibung bezieht sich auf die beim Bau der Weichselbrücke bei Dirschau benutzte Ramme.

auf dem der Dampfcylinder steht. Dieses Gehäuse ist nahe 10 Fuſs hoch, und unten mit zwei starken guſseisernen Halbringen versehn, welche den Pfahlkopf umfassen, so daſs dieser innerhalb des Gehäuses unmittelbar vom Rammklotze getroffen wird.

Auf den Deckel des Gehäuses ist der Dampfcylinder aufgeschroben, der $3\frac{1}{2}$ Fuſs hoch und 13 Zoll weit ist. Die Kolbenstange tritt abwärts durch eine Stopfbüchse in das Gehäuse und ist hier an den Rammklotz befestigt. Das Gewicht des letztern mit Einschluſs des Kolbens und der Kolbenstange beträgt 28 Centner, dagegen wiegen die festen Theile, die den Pfahl dauernd belasten, nämlich das Gehäuse und der Dampfcylinder, 40 Centner.

Der Dampf ist stark gespannt und das Sicherheitsventil mit 70 Pfund auf den Quadratzoll belastet. Die Röhre, welche den Dampf nach dem Cylinder leitet, ist aus vier Theilen zusammengesetzt, von denen der erste mit der Kuppel des Dampfkessels fest verbunden ist, während die drei übrigen gegen einander, wie gegen den ersten und die Dampfmaschine verschiedene Neigungen annehmen können. Dieses ist dadurch erreicht, daſs jedes Rohr durch eine kurze Ansatzröhre seitwärts ausmündet, und diese Ansatzröhren in einander greifen, wie Stopfbüchsen gedichtet sind, und eine in der andern sich drehen läſst. Wird der Cylinder mit dem Rammklotze beim Setzen eines neuen Pfahles gehoben, so nimmt der Röhrenstrang fast eine gerade Richtung an, wie die Maschine sich aber nach und nach senkt, so legt sich der Strang immer mehr zusammen, ohne daſs er den Durchgang des Dampfes verhindert, oder denselben seitwärts entweichen läſst.

Indem der Dampf unter den Kolben tritt, so hebt er diesen zugleich mit dem Rammklotze so lange, bis letzterer einen Hebel faſst, und dadurch das Schiebeventil verstellt. Alsdann hört die weitere Zuströmung auf, und der in den Cylinder eingetretene Dampf kann frei entweichen, aber die Bewegung des Kolbens ist so heftig, daſs er noch weiter, und über diese Oeffnung hinaus ansteigt. Der über ihm befindliche Dampf, der nunmehr nicht entweichen kann, wird bei der ferneren Bewegung stark comprimirt, und indem er wie ein elastischer Puffer wirkt, bringt er nicht nur den Kolben zum Stillstande, sondern verstärkt auch die Wirkung der Schwere, und stöſst den Kolben schneller herab, als er frei fallen würde. Um nach erfolgtem Stoſse den Dampf wieder in den Kolben treten zu

lassen, hat Nasmyth die Einrichtung getroffen, dafs im Klotze ein schwerer Hebel hängt, der durch die Erschütterung beim Aufschlagen in Bewegung gesetzt wird, und mittelst einer Steurung das Schieberentil so stellt, dafs die Einströmung des Dampfes sogleich wieder beginnt. Bei dieser Einrichtung hat die Maschine keine bestimmte Hubhöhe, eine solche darf auch in der That nicht eingeführt werden, insofern die Pfahlköpfe bald mehr, bald minder weit in den Kasten treten, und sogar derselbe Pfahl während des Rammens etwas abgeschlagen oder eingedrückt wird, und daher die Hubhöhe sich verändern mufs. Die gröfste Hubhöhe, die der Klotz bei dieser Maschine annehmen kann, beträgt 34 Zoll. Der untere Theil des Klotzes besteht aus einem schmiedeeisernen Zapfen von 10 Zoll Durchmesser, der den eigentlichen Schlag auf den Pfahl ausübt.

Diese Beschreibung dürfte genügen, um von der Einrichtung und Wirksamkeit der Maschine im Allgemeinen ein klares Bild zu geben. Die Mittheilung der Einzelheiten gehört nicht hierher. Man wird aber aus Vorstehendem schon auf den kräftigen und raschen Gang der Maschine schliefsen können. Sie macht durchschnittlich 60 Schläge in der Minute, doch kann man deren Anzahl noch vergröfsern und auf einige siebenzig treiben, so dafs die ganze Dauer jedes Stofses oder Schlages nur etwa 0,8 Secunden beträgt. Die Zeit, in welcher der Rammklotz aus der Höhe von 34 Zoll allein durch die Wirkung der Schwere herabfällt, ist aber schon 0,42 Secunden, daher mufs er nicht nur sehr schnell gehoben, sondern auch beim Fallen noch durch die comprimirte Luft herabgestofsen werden. Dabei ist noch darauf aufmerksam zu machen, dafs während seines Aufsteigens nicht nur das Gehäuse und der Cylinder den Pfahl belasten, sondern auch der Dampf auf den Boden des Cylinders drückt, also gleichfalls wirksam ist, und das Gewicht des Kolbens und des Klotzes auf denselben überträgt. Die Belastung ist also während dieser Zeit sehr grofs und verhindert das Heben des Pfahles nach dem Schlage.

Unter dem Dampfkessel, und zwar quer gegen denselben gerichtet, befindet sich endlich noch ein zweiter Dampfcylinder, der eine eigne Dampfmaschine bildet. Diese dient zunächst zum Betriebe der Speisepumpe für den Kessel, sie wird aber auch benutzt, um nach dem Einschlagen eines Pfahles den Dampfcylinder mit dem Rammklotze und Gehäuse wieder in die Höhe zu winden, ferner

die ganze Rüstung mit dem Dampfkessel, der Ramme und allen Maschinen-Theilen auf der Eisenbahn soweit zu verfahren, dafs der folgende Pfahl gesetzt werden kann, und endlich diesen Pfahl selbst zu heben und unter das Gehäuse zu bringen. In einzelnen Fällen hat man überdiefs eine Kreissäge angebracht und mit der zweiten Dampfmaschine verbunden, wodurch jeder Pfahl, nachdem er eingerammt ist, sogleich in der passenden Höhe abgeschnitten werden kann.

In neuster Zeit ist in den Niederlanden noch eine Kunstramme versucht, die sich von allen übrigen dadurch unterscheidet, dafs der Klotz mittelst eines etwa 20 Fufs langen gleicharmigen Hebels, woran die Zugleinen befestigt sind, gehoben wird. Die Ramme wird also wie eine Zugramme bewegt, der Klotz hebt sich auch nur etwa 5 Fufs, doch mufs er mit Auslösung versehn sein, weil ohne diese der Schlag durch den Hebel zu sehr geschwächt werden würde. Die mit dieser überaus complicirten Maschine, die von Bovy erfunden ist, angestellten Versuche sollen sehr günstige Resultate ergeben haben, doch läfst sich nicht ersehn, in welcher Beziehung sie vor der einfachsten Kunstramme einen Vorzug haben sollte, während ihre Zusammensetzung augenscheinlich viel kostbarer ist, auch die bei jedem Schlage erforderliche Drehung des schweren Hebels einen bedeutenden Theil der Betriebskraft in Anspruch nimmt.

§. 37.
Rostpfähle.

Die Rostpfähle, die entweder unbeschlagen, oder wie Balken vorher beschlagen sind, versieht man mit pyramidalen und meist vierseitigen Spitzen. Solche Pfähle nennt man Spitzpfähle, man unterscheidet dabei aber wieder zwei Arten, nämlich Grundpfähle und Langpfähle. Grundpfähle heifsen sie, wenn sie ganz im Grunde stecken, Langpfähle dagegen, wenn sie mit einem bedeutenden Theile ihrer Länge über den Boden vorragen, und zwar ist es gleichgültig, ob der freistehende Theil sich über oder unter Wasser befindet. Sowohl Grundpfähle, als auch Langpfähle können Rostpfähle sein. Bohlwerkspfähle, Schiffshalter und dergleichen ge-

hören immer zur Klasse der Langpfähle. Hier sollen zunächst die Spitzpfähle behandelt werden, doch ist sogleich zu bemerken, dafs diese Benennung nur zur Unterscheidung von den Spundpfählen beibehalten ist, und daher auch von solchen die Rede sein wird, die statt der Spitze mit einer Schneide versehn, oder auch wohl ganz stumpf abgeschnitten sind.

Das Material, woraus die Pfähle bestehn, ist fast immer Holz und zwar können nach Umständen sehr verschiedene Holzarten dazu benutzt werden. Hauptbedingung ist es, dafs der Stamm, den man einrammen will, recht gerade ist, und in dieser Beziehung empfehlen sich vorzugsweise die Nadelhölzer, die man auch am häufigsten zu wählen pflegt. Das Kiefernholz widersteht wegen der harzigen Theile, die es enthält, einer abwechselnden Nässe und Trockenheit und besonders einem dauernden Angriffe des Wassers lange Zeit hindurch. In dieser Beziehung hat es selbst vor dem Eichenholze Vorzüge, wie ich dieses namentlich beim Ausziehn der alten Bohlwerkspfähle im Pillauer Hafen sehr deutlich bemerkte. Das Kiefernholz hatte, soweit es immer unter Wasser geblieben war, sich gut erhalten, was beim Eichenholze nicht der Fall war, auf den eichenen Pfählen war es sogar schwer, die Kette des Wuchtbaumes zu befestigen. Sobald diese angezogen wurde, drückte sie sich tief in das Holz ein und schnitt häufig den Kopf des Pfahles durch, wogegen das Kiefernholz grofsentheils in so gutem Zustande sich befand, dafs es, nachdem es ausgezogen war, noch bei Rüstungen und manchen leichten Bauten benutzt werden konnte. Beide Sorten von Pfählen waren aber abwechselnd in früherer Zeit gewählt worden und mochten durchschnittlich etwa 50 Jahre im Grunde gesteckt haben. Nach der gewöhnlichen Ansicht ist das Eichenholz, wenn es immer vom Wasser bedeckt bleibt, vorzugsweise von langer Dauer, woher es zu Rostpfählen häufig angewendet wird, wahrscheinlich hält es sich auch besser, wenn es vollständig ausgewachsen ist, doch dürfte dabei die schon oben angedeutete Vorsicht noch besonders zu empfehlen sein, dafs eine Berührung mit fliefsendem Wasser vermieden wird, oder dafs die eichenen Pfähle wirklich Grundpfähle sind.

Es fehlt keineswegs an Erfahrungen, welche beweisen, dafs das Eichenholz sich unter Wasser zuweilen sehr lange erhält. So fand man, das eichene Pfähle die in einem Moore bei Lancaster wahrscheinlich vor 900 Jahren eingerammt waren, noch ganz gesundes

Holz enthielten *), und als man einen Pfahl aus der Brücke, die Trajan unterhalb Belgrad erbaut hatte, am Ende des vorigen Jahrhunderts auszog, so ergab es sich, dafs derselbe im äufsern Umfange etwa auf $\frac{1}{2}$ Zoll Stärke in Chalcedon verwandelt war. Ebenso findet man zuweilen, dafs das Holz von Schiffen, die vor langer Zeit gesunken sind, theilweise überaus fest geworden ist, so dafs man aus einzelnen Stücken Lineale verfertigt, die so schwer und hart und sogar von derselben schwarzen Farbe wie Ebenholz sind. Doch kommt andrerseits auch wieder der Fall vor, dafs alte Schiffswrake, die aus Eichenholz bestehn, und immer unter Wasser gelegen haben, sogar durch die Baggereimer zerschnitten werden. Beide Fälle sind in der Nähe des Pillauer Hafens vorgekommen.

In England wählt man zu Rostpfählen gemeinhin Buchenholz, doch auch das Ellernholz hat seiner geringeren Festigkeit unerachtet, wenn es vom Wasser immer bedeckt geblieben, sich als sehr dauerhaft gezeigt. Aufserdem wird man keinen Anstand nehmen, jede andre Holzart, wenn dieselbe in passenden Stämmen und billig zu beschaffen ist, zu Pfählen zu gebrauchen, und nur diejenigen Gattungen, welche besonders weich sind, wie Weiden und Pappeln, wird man ausschliefsen müssen. Endlich ist zu erwähnen, dafs man auch gufseiserne Spitzpfähle zuweilen statt der hölzernen verwendet hat, dieses ist indessen bei Rosten wohl nur selten vorgekommen, vielmehr vorzugsweise bei Bohlwerken, wovon später die Rede sein wird.

Was die Stärke der Pfähle betrifft, so pflegt man selbige gemeinhin von ihrer Länge abhängig zu machen. Perronet sagt, dafs die Pfähle bei 15 bis 18 Fufs Länge eine mittlere Stärke von 10 Zoll erhalten und letztere auf jede folgende 6 Fufs um 2 Zoll zunehmen mufs, doch bemerkt er, dafs für lange Pfähle, die grofsentheils im Grunde stecken und die sonach am Biegen und Brechen verhindert werden, es genügt, wenn man auf jede 6 Fufs der Länge (über jene ersten 18 Fufs) die mittlere Stärke um 1 Zoll wachsen läfst, woher z. B. ein 30 Fufs langer Pfahl nur 12 Zoll mittlere Stärke erhalten, oder derselbe am Stammende 14 und am Wipfelende 10 Zoll messen darf. Es ist klar, dafs man bei sehr langen Pfählen von dieser Regel abweichen mufs, auch bedingen die Um-

*) *The Civil Engineer and Architect's Journal. II. p. 30.*

stände oft eine gröfsere oder mindere Stärke. Steckt der Pfahl seiner ganzen Länge nach in festem Boden, woselbst er sich nicht biegen kann, so wird eine geringe Stärke schon ausreichen, um grofse Lasten zu tragen, steht dagegen ein bedeutender Theil desselben entweder ganz frei oder in loser Erde, so mufs er solchen Querschnitt haben, dafs seine rückwirkende oder auch seine relative Festigkeit den darauf wirkenden Kräften entspricht. Am wenigsten ist der Bruch des Pfahles zu besorgen, wenn der Druck, den er erfährt, ihn genau in seiner Längenrichtung trifft. Ist dieses, wie etwa bei Bohlwerken, nicht möglich, so lassen sich die Pfähle durch Verankerung oder in andrer Weise noch unterstützen, wovon §. 34 schon die Rede war.

Die erforderliche Stärke der Spitzpfähle läfst sich nach den bekannten Gesetzen und Erfahrungen über die Festigkeit des Holzes in jedem Falle leicht ermitteln, wenn die Bodenart genau bekannt ist, in welche sie eingetrieben werden sollen. Man pflegt aber über dieses Maafs weit hinauszugehn, und solche Vorsicht rechtfertigt sich auch in sofern das Holz leicht leidet oder wenn es mit fliefsendem Wasser dauernd in Berührung bleibt, sogar mit der Zeit in seiner Oberfläche vollständig verzehrt wird. In England und Frankreich verwendet man ziemlich allgemein zu den Rostpfählen schwächere Hölzer, als bei uns.

Die Pfähle müssen, ehe man sie setzt, von der Rinde entblöfst werden. Dieses ist schon nöthig, um die Reibung beim Einrammen möglichst zu mäfsigen, denn die rauhe Rinde verhindert das Eindringen des Pfahles, ohne die Stärke und Tragfähigkeit desselben zu vergröfsern. Am passendsten ist es, die Rinde gleich nach dem Fällen, oder wenigstens sobald das Holz angeliefert ist, abzuschälen, weil man dadurch das Austrocknen befördert und zugleich verhindert, dafs die Säfte in dem frischen Holze nicht in Fäulnifs übergehn und das Holz verderben. Aufserdem leiden diejenigen Stämme, welche lange unter der Rinde liegen, auch von dem Wurme, der jedoch bald stirbt, wenn das Holz dem Zutritt der Luft freigestellt wird. Das Entfernen des Splintes von den Pfählen ist nicht nöthig, denn wenn derselbe auch nur eine geringere Festigkeit hat, so vermehrt er doch immer noch einigermaafsen die Tragfähigkeit des Pfahles, und besonders wichtig ist es, dafs er den Kern vor manchen Beschädigungen schützt. Nach den Untersuchungen, die

Buffon über die Festigkeit des Splintes im Vergleiche zu der des innern Holzes von demselben Eichenstamme anstellte, ergab sich nur die Differenz von etwa ein Fünfzehntel, was mit dem Unterschiede des specifischen Gewichtes beider übereinstimmt. Hiernach würde man den Pfahl schon bedeutend schwächen, wenn man den Splint beseitigen wollte. Es ist freilich nicht in Abrede zu stellen, dafs letzterer um Vieles vergänglicher ist, aber selbst in diesem Falle verhindert er noch immer die unmittelbare Berührung des Wassers mit dem festeren Kern.

Das scharfkantige Beschlagen der Spitzpfähle und namentlich der Rostpfähle läfst sich eben so wenig rechtfertigen. An manchen Orten ist man freilich zur Anwendung von Balkenholz gezwungen, indem nur solches zu haben ist, so ist z. B. das sehr feste Polnische Kiefernholz, welches die Weichsel herabgeflöfst wird, und das sich durch die feinen Jahresringe augenfällig von dem deutschen Kiefernholze unterscheidet, jedesmal schon roh beschlagen. Andrerseits ist der Ankauf von beschlagenem Holze auch insofern zuweilen zu empfehlen, als die Güte des Stammes sich alsdann leichter erkennen läfst. Wenn man jedoch Rundholz angekauft hat, so ist kein Grund vorhanden, dieses vor dem Einrammen noch beschlagen zu lassen, wenn die Pfähle nicht vielleicht zum Theil sichtbar bleiben und man dem Bau ein regelmäfsiges Ansehn geben will.

Sehr wichtig ist die Bestimmung der erforderlichen Länge der Pfähle. Bei Bohlwerkspfählen hat dieses keine Schwierigkeit, indem solche nicht stark belastet werden und daher ein späteres Eindringen bei ihnen nicht zu besorgen ist, wenn sie auch nicht besonders fest eingerammt sind. Bei den Rostpfählen dagegen tritt, wie bereits erwähnt worden, entweder die Bedingung ein, dafs sie den festen Untergrund erreichen und sonach die Last des Baues auf diesen übertragen sollen, oder sie müssen, wenn der Boden mehr gleichförmig ist, so tief eingerammt werden, dafs die Reibung, welche sie von der umgebenden Erde erfahren, ihnen die nöthige Tragfähigkeit giebt. In beiden Fällen werden sie so lange herabgetrieben, als sie noch leicht eindringen, und nur, wenn sie bei der Hitze oder unter dem Schlage des durch die Maschine gehobenen Rammklotzes nur noch um einige Linien sich senken, pflegt man sie als feststehend zu betrachten und ihnen die erforderliche Tragfähigkeit beizumessen. Die Schwierigkeit besteht darin, vorher zu wissen, in

welcher Tiefe sie diesen festen Stand erreichen werden. Sind sie zu lang, so werden dadurch nicht nur unnöthiger Weise die Kosten für den Ankauf des Holzes vermehrt, sondern die Arbeit des Setzens der Pfähle wird auch schwieriger und man mufs vielleicht höhere Rammen gebrauchen. Noch gröfser ist aber der Uebelstand, wenn die Pfähle zu kurz sind und während ihr Kopf den vorher bestimmten Horizont des Rostes schon erreicht, noch mit Leichtigkeit eindringen. Man mufs, wenn man in diesem Falle sicher gehn will, die Arbeit unterbrechen und längere Pfähle herbeischaffen, doch zuweilen pflegt man auch, wenn dieses nicht thunlich ist, die Anzahl der Pfähle zu vermehren und sonach die Belastung jedes einzelnen zu ermäfsigen. Endlich aber stellt man auch auf einen solchen Pfahl, der schon ganz in den Boden eingedrungen ist, ohne einen festen Stand angenommen zu haben, noch einen zweiten auf; man nennt dieses das Aufpfropfen der Pfähle. Ein solches Verfahren ist bei einzelnen Pfählen wohl zulässig, aber es darf nicht bei mehreren neben einander vorkommen, weil alsdann die Gefahr eintritt, dafs der Theil des Rostes, der darauf ruht, seitwärts umfallen möchte. Dazu kommt auch noch, dafs durch ein solches Aufpfropfen der Effect des Schlages der Ramme sehr geschwächt wird und sonach ein andres Maafs über das Minimum des Eindringens während einer Hitze eingeführt werden mufs. Perronet erzählt, dafs beim Bau der Brücke zu Orleans manche Pfähle sogar zweimal gepfropft werden mufsten, doch meint er, dafs sie alsdann einen hinreichend festen Stand wirklich erreichten.

Die Art, wie bei diesem Brückenbau die Pfähle verbunden wurden, ist Figur 196 dargestellt, es wurden nämlich auf eine Länge, welche dem doppelten Durchmesser des Pfahles gleich kam, zwei Prismen sowohl aus dem untern Pfahle, als dem obern ausgeschnitten, von denen jedes einen Quadrant des Querschnittes zur Grundfläche hatte. Auf solche Art griffen beide Theile in einander und wurden in dieser Verbindung noch durch zwei eingelassene Zugbänder zusammengehalten, die jedoch über die äufsere Fläche nicht vortraten, also weder verschoben werden konnten, noch auch die Reibung verstärkten. Man darf indessen nicht erwarten, dafs ein in solcher Weise zusammengesetzter Pfahl an dieser Stelle dieselbe Steifigkeit besitzt, als wenn er aus einem Stücke bestände. Solches läfst sich überhaupt in keiner Weise er-

reichen, und es bleibt daher nur übrig, dafür zu sorgen, daſs die beiden Enden der Pfähle sicher auf einander treffen und nicht etwa bei den starken Erschütterungen sich gegenseitig verschieben. Der Schlag des Klotzes wird aber um so vollständiger auf den untern Theil übertragen, je gröſser die berührenden Flächen sind, und daher empfiehlt es sich, beide Theile stumpf abzuschneiden. Aus diesem Grunde dürfte ein in die Achse des untern Pfahles eingetriebener starker eiserner Dorn, der etwa 6 Zoll weit in ein vorgebohrtes Loch des obern Pfahles eingreift, besonders zu empfehlen sein, während fest aufgetriebene Ringe das Spalten des Holzes verhindern. Noch vortheilhafter ist es, diese beiden Ringe zu einem höheren Cylinder zu verbinden, der beide Enden umfaſst. Der Dorn wird alsdann entbehrlich, aber man muſs dafür sorgen, daſs der Ring weder aufwärts noch abwärts gleiten kann, wodurch die Pfähle vollständig getrennt würden. Zu diesem Zwecke versieht man den Ring in der Mitte mit einer Bodenplatte, auf welche beide Pfahl-Enden sich aufstellen. Dergleichen eiserne Schuhe, und zwar aus Guſseisen bestehend, hatte man vielfach zu diesem Zwecke in England angewendet. Fig. 216 *a* und *b* auf Taf. XVI zeigt einen solchen im Durchschnitt und in der Seitenansicht. Beim Umbau der Brücke la belle croix zu Nantes über die Loire wurden dieselben aus starken vernietheten Blechen dargestellt, dabei aber zugleich der Dorn wieder angebracht, der durch die Mittelplatte hindurchreichte. *)

Wenn ein in dieser Weise verlängerter Pfahl sich nicht in der Richtung des Druckes befindet, den er auf das untere Stück des Pfahles überträgt, so kann er von dem umgebenden Erdreiche nicht gehörig gehalten werden. Er neigt sich alsdann seitwärts, ganz in derselben Art, als wenn er an dieser Stelle mit einem Charnier versehn wäre.

Um diesen Zufälligkeiten begegnen und beim Ankaufe der Pfähle schon deren Länge sicher beurtheilen zu können, ist eine genaue Untersuchung des Grundes nothwendig. Befindet sich in einer Tiefe, die mit dem Pfahle erreicht werden kann, eine durchaus feste Schicht, oder streicht etwa hier ein Felslager darunter fort, so giebt sich dieses durch das Bohren, oder durch den Gebrauch des Sondireisens sicher zu erkennen, es bleibt aber noch zweifelhaft, ob

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1865. *I. pag.* 41.

jene Schicht überall in gleicher Höhe liegt, oder in welcher Neigung und nach welcher Seite sie abfällt. Man mufs sonach mehrere Stellen untersuchen und man kann aus der Uebereinstimmung der Tiefe auch darauf schliefsen, ob vielleicht einzelne Klüfte im Gesteine sind, wo die Pfähle weiter eindringen und daher eine gröfsere Länge für sie angenommen werden mufs. Bei der Brücke zu Orleans fand dieses in der That statt, der Tuff, der den Untergrund bildete, zeigte eine so abwechselnde Oberfläche, dafs mehrere Pfähle sehr bald zum Stehn kamen, während die meisten erst in 30 Fufs Tiefe feststanden und einzelne sogar 50 bis 60 Fufs eindrangen. Sobald die Pfähle wirklich den Fels erreichten, so gab sich dieses durch den hellen Klang und das starke Zurückspringen des Rammklotzes zu erkennen.

Wenn dagegen keine scharfe Begrenzung zwischen dem losen und dem festen Grunde stattfindet, oder auch die Pfähle immer im weichen Boden bleiben und nur durch die vermehrte Reibung beim tieferen Eindringen endlich einen festen Stand annehmen, so läfst sich durch die angedeutete Untersuchung nicht mehr mit hinreichender Sicherheit auf die erforderliche Länge der Pfähle schliefsen, und es bleibt alsdann nur übrig, beim Entwerfen des Projectes und ehe das Holz angekauft wird, eine Ramme aufzustellen und einige Pfähle zur Probe einzutreiben. Dieses Mittel ist zwar umständlich, man darf es indessen nicht umgehn, wenn man spätern Verlegenheiten vorbeugen will, und wenn man einmal eine solche Probe einleitet, so mufs man dieselbe auch an verschiedenen Punkten der Baustelle wiederholen, um sich zu überzeugen, ob überall ungefähr eine gleiche Länge für die Pfähle erforderlich ist, denn auch im losen aufgeschwemmten Boden zeigen sich zuweilen in geringen Abständen schon merkbare Verschiedenheiten. Endlich wäre noch zu erinnern, dafs man der Sicherheit wegen lieber die Pfähle etwas zu lang, als zu kurz zu wählen pflegt, denn die Vermehrung der Kosten ist im ersten Falle geringer, als im letzten, und man entgeht dadurch mit einiger Sicherheit den Unterbrechungen der Arbeit, welche bei Fundirungen überaus nachtheilig sind, und leicht Veranlassung sein können, dafs die beschränkte Dauer eines günstigen Wasserstandes unbenutzt vorübergehn mufs.

Ferner ist hier die Frage zu berühren, ob man die Pfähle in der Richtung einrammen soll, wie sie gewachsen sind, oder so,

dafs das Stammende nach oben gekehrt wird. Es leidet keinen Zweifel, dafs ein Pfahl, der nur auf einen kleinen Theil seiner Länge im Boden steckt, dem Einbiegen oder Brechen besser widersteht, wenn das Stammende nach unten, als wenn dasselbe nach oben gekehrt ist. In ähnlicher Art mufs jede Stütze (wie z. B. der Fufs an einem Tische) so befestigt werden, dafs das stärkere Ende auf diejenige Seite trifft, wo die Befestigung stattfindet. Für den angegebenen Fall empfiehlt daher auch Perronet, das Stammende des Pfahles nach unten zu stellen. Er führt dabei an, dafs der Pfahl bei solcher Richtung in einer etwa um den vierten Theil kürzeren Zeit eingerammt werden kann, als wenn das Wipfelende abwärts gekehrt ist. Der letzte Umstand würde gleichfalls dafür sprechen, die erste Anordnung zu wählen, und man hat auch sonst bemerkt, dafs das Eindringen des Pfahles hierbei Anfangs zwar etwas langsamer, aber wenn er weiter herabgekommen ist, merklich schneller erfolgt, als im entgegengesetzten Falle. Dieses erklärt sich dadurch, dafs die Spitze eine weitere Oeffnung bildet und der dünnere Theil des Pfahles, welcher derselben folgt, weniger Widerstand findet, in ähnlicher Art wie man den Futterröhren bei Artesischen Brunnen auch einen auswärts vortretenden Schuh giebt, um den Druck oder die Reibung auf die Röhre selbst zu vermindern. Man mufs indessen hierbei befürchten, dafs in demselben Maafse, wie die Schläge des Rammklotzes wirksamer werden, auch ein Eindrücken unter einer starken Belastung um so leichter erfolgen kann, und es kommt dazu noch der Umstand, dafs im Allgemeinen das Eindringen des Pfahles, während er eingerammt wird, durch die Compression des Bodens erschwert wird, die nicht dauernd ist. Man überzeugt sich hiervon durch die bekannte Erfahrung, dafs nach einer Pause von mehreren Arbeitsstunden die Pfähle gewöhnlich wieder merklich besser ziehn, als vorher geschah. Indem nun ein Pfahl, dessen Stammende abwärts gerichtet ist, eine solche Compression nur vor seiner Spitze erzeugt, so wird er nach der erfolgten Ausgleichung des Druckes weniger fest stehn, als wenn er auf seine ganze Länge einen gehörigen Druck erleidet und hier überall die Reibung ihn zurückhält. Man hat keine directen Versuche angestellt, wodurch diese Ansicht sicher bestätigt oder widerlegt wäre, aber sie wird ziemlich allgemein getheilt, und das gewöhnliche Verfahren ist auch dieses, dafs man das Wipfelende des Pfahles nach unten

kehrt. Eine Ausnahme davon macht man nur in dem Falle, wenn ein Heben der Pfähle durch Eis besorgt wird, wie dieses bei den Jochpfählen einer Brücke und bei Eisbrechern besonders vorkommt. Der wichtigste Umstand ist in dieser Beziehung aber wohl der, den auch Perronet anführt, dafs man besonders dafür sorgen mufs, das stärkere Ende des Pfahles an diejenige Stelle zu bringen, wo der gröfste Angriff des Wassers stattfindet oder andere Beschädigungen vorkommen. Bei Bohlwerks- und Brückenpfählen ereignen sich die meisten Beschädigungen durch Fäulnifs und durch den Eisgang über dem niedrigen Wasserstande. Trifft diese Stelle über die Mitte des Pfahles, was gemeinhin der Fall ist, so mufs das Wipfelende nach unten gekehrt werden. Alsdann werden nämlich solche unvermeidliche Beschädigungen weniger nachtheilig, als wenn der Pfahl umgekehrt gestellt wäre. Auch bei Rostpfählen findet etwas Aehnliches statt, weil die Angriffe durch Fäulnifs oder durch fliefsendes Wasser in gröfserer Tiefe weniger zu besorgen sind.

Die Rostpfähle wie alle Pfähle, die nicht in geschlossener Reihe stehn, pflegt man an den untern Enden mit Spitzen zu versehn, damit sie unter den Rammschlägen um so leichter in den Boden eindringen. Man dürfte freilich vermuthen, dafs in gleichem Maafse, wie die Spitze das Einrammen erleichtert, sie auch Veranlassung giebt, dafs der Pfahl bei der spätern Belastung nur einem geringeren Drucke widersteht, und früher die Senkung des Gebäudes veranlafst, als wenn er unten stumpf abgeschnitten wäre. Eine besonders scharfe Zuspitzung mufs man unbedingt vermeiden, weil solche zu leicht beschädigt wird, auch wohl abbricht. Dafs durch solche die Rammarbeit aber keineswegs erleichtert wird, davon hatte ich mich durch mehrfache Versuche vollständig überzeugt, obwohl die Zimmerleute stets das Gegentheil behaupten.

Soviel mir bekannt, sind niemals entscheidende Versuche darüber angestellt worden, ob die Spitze wirklich das Eindringen des Pfahles erleichtert. Unbedingt findet dieses wohl bei den ersten Schlägen statt, wenn der Pfahl aber tiefer herabgetrieben ist, so läfst sich das vergleichungsweise nur überaus geringe Eindringen desselben unter jedem Schlage des Rammklotzes nur durch die sehr starke Reibung erklären, dem seine Seitenwand ausgesetzt ist. Bei gleichmäfsigem Boden, wie solcher oft vorkommt, mufs die Spitze beim Durchdringen der tiefern Schichten eben so wirksam sein, wie

in den obern, sie scheint aber hier der starken Seitenreibung gegenüber allen Einfluſs zu verlieren. Die Spitze drängt die Erde, auf welche sie trifft, unmittelbar zur Seite, veranlaſst also hier eine stärkere Compression, die wahrscheinlich die Reibung vermehrt. Aus diesem Grunde versieht man Spundpfähle und andre Pfähle, die eine geschlossene Wand bilden sollen, nicht mit Spitzen, sondern mit Schneiden. Letztere drängen nämlich die Erde nicht an die Stelle, wo der nächste Pfahl gesetzt werden soll, sondern vor und hinter die Wand. In welcher Richtung ein Pfahl, der stumpf abgeschnitten ist, die Erde fortschiebt, läſst sich freilich nicht bestimmt beantworten, aber es ist wahrscheinlich, daſs er in seiner unmittelbaren Nähe nicht eine so starke Compression veranlaſst, und sonach wäre zu vermuthen, daſs wenn er so tief eingedrungen ist, daſs der zu überwindende Widerstand beinahe ausschlieſslich nur von der Seiten-Reibung herrührt, diese etwas geringer sein dürfte, als wenn er mit einer Spitze versehn wäre.

Der vorstehend angeregte Zweifel findet einigermaaſsen Bestätigung in der Mittheilung*), daſs bei dem Bau einer Brücke die mit einer Spitze versehenen Rostpfähle im Verhältnisse von 9 zu 7 langsamer eindrangen, als wenn man ihnen eine schneidenförmige Zuschärfung gegeben hatte. Der für diese Erscheinung daselbst angegebene Grund ist wohl nicht richtig, aber es schien mir doch angemessen, durch Versuche, wenn auch nur in kleinem Maaſsstabe zu prüfen, welchen Einfluſs die Form der Spitze auf das Eindringen des Pfahles hat.

Zu diesem Zwecke schnitt ich mit einer Kreissäge kleine prismatische Stäbchen aus hartem, geradefasrigem Holze von gleichem quadratischen Querschnitt aus, und versah sie mit verschiedenen Spitzen oder Schneiden, während einige derselben stumpf abgeschnitten waren. Die Seiten der Querschnitte maſsen 0,27 Zoll, und die Länge der Pfähle betrug 7 Zoll. Jeder derselben war an dem der Spitze gegenüber befindlichen Ende in der Richtung der Achse mit einem Bohrloche versehn, worin ein etwas zugeschärfter Stahldrath paſste. Dieser diente theils zur lothrechten Führung des Stabes, indem er durch eine Oeffnung einer festen Metallplatte gezogen war, theils aber führte er auch den kleinen bleiernen Rammklotz, der

*) Förster's allgemeine Bauzeitung 1852. Literatur-Blatt Seite 271.

seiner Länge nach durchbobrt war und den Draht umfaſste. An diesen Draht befestigte ich auſserdem einen kleinen Cylinder in solcher Höhe, daſs der Rammklotz dagegen stieſs, so bald er 4 Zoll hoch gehoben wurde, und endlich trug der Draht am obern Ende noch einen Zeiger, der neben einem senkrecht aufgestellten Maaſsstabe schwebte und erkennen lieſs, wie tief der Pfahl bei jedem Schlage eindrang. Die Schläge waren aber constant dieselben, indem der Klotz jedesmal 4 Zoll hoch gehoben wurde.

Dieser Apparat wurde bei verschiedenen Sandschüttungen versucht, doch trat dabei die schon früher erwähnte groſse Schwierigkeit hervor, die Schüttungen jedesmal möglichst gleichmäſsig darzustellen, und hieraus erklären sich die vielfachen Unregelmäſsigkeiten der Resultate. Um die verschiedenen Pfahlspitzen bei derselben Schüttung vergleichen zu können, benutze ich ein cylindrisches Blechgefäſs von 9 Zoll Weite und 6 Zoll Höhe, worin sich 4 Pfähle im gegenseitigen Abstande von 4 Zoll eintreiben lieſsen, also nicht zu besorgen war, daſs die Schüttung, welche ein neuer Pfahl durchdrang, schon durch das Eintreiben der früheren verändert sei. Die Pfählchen wurden aber jedesmal nur so tief eingeschlagen, daſs ihre untern Enden noch etwa 1 Zoll vom Boden entfernt blieben.

Bezeichne ich mit *A* den stumpf abgeschnittenen Pfahl, mit *B* denjenigen dessen pyramidale Spitze 0,3 und mit *C* denjenigen, dessen Spitze 0,6 Zoll lang ist, so betrug die Einsenkung in den letzten Schlägen, wenn also die Pfähle beinahe die volle Tiefe erreicht hatten und ein gleichmäſsiges Eindringen sich einstellte:

1) bei trocknem Sande der möglichst vorsichtig, und zwar mit sehr geringer Fallhöhe eingeschüttet war, wobei sich also die lockerste Ablagerung bildete

A . . . . 0,127 Zoll
B . . . . 0,133 „
C . . . . 0,116 „

2) bei trocknem, schichtenweise mäſsig angestampften Sande

A . . . . 0,043 Zoll
B . . . . 0,044 „
C . . . . 0,055 „

3) bei trocknem Sande, der durch vielfaches Einstoſsen eines halbzölligen Drahtes eine möglichst dichte Ablagerung angenommen hatte

A . . . . 0,040 Zoll
B . . . . 0,033 „
C . . . . 0,034 „

4) bei feuchtem Sande, dem jedoch nur so wenig Wasser zugesetzt war, daſs er so eben mit der Hand sich zu Klumpen formen lieſs. Bei diesem Gemenge war es am schwierigsten, eine gleichmäſsige Ablagerung zu bilden, wie sich aus dem sehr verschiedenartigen Eindringen jedes einzelnen Pfählchen zu erkennen gab. Die beste Methode war noch diese, daſs ich sehr dünne Schichten von etwa $\frac{1}{4}$ Zoll Höhe einbrachte und jede derselben durch sanftes Aufsetzen eines 4 Pfund schweren Gewichtstückes an allen Stellen comprimirte. Hiernach ergab sich

A 0,159
B 0,208
C 0,131

Wenn man aus diesen Beobachtungen, welche wegen der ungleichmäſsigen Ablagerungen des Sandes sehr auffallende Unterschiede unter sich zeigen, einen Schluſs ziehn kann, so ergiebt sich, daſs das Eindringen des Pfahles unter gleichen Rammschlägen nahe dasselbe bleibt, wenn der Pfahl mit einer langen, oder mit einer kurzen Spitze versehn oder stumpf abgeschnitten ist. Einen Unterschied zwischen der Spitze und der Schneide konnte ich eben so wenig mit Sicherheit bemerken. Augenscheinlich hatte aber die scharfe Spitze oder Schneide auf das erste Eindringen wesentlichen Einfluſs und beförderte dieses in hohem Grade, doch nur bis die Pfählchen etwa 2 Zoll tief eingedrungen waren, also die Reibung, die sie seitwärts erfuhren, den Haupt-Widerstand bildete, der überwunden werden muſste.

Indem mittelst des beschriebenen Apparates das Eindringen der Pfählchen unter den ganz gleichen Schlägen sich messen, und die Verminderung der Bewegung bei der tieferen Stellung des Pfahles sich leicht wahrnehmen lieſs, so versuchte ich noch aus den regelmäſsigsten Beobachtungs-Reihen die Beziehung zwischen der Tiefe s, zu welcher der Pfahl bereits eingedrungen war, und der Einsenkung τ bei jedem Schlage festzustellen.

Die einfachste Form des zum Grunde zu legenden Gesetzes schien diese zu sein

$$\tau = \frac{n}{s^x}$$

worin x einen noch unbekannten Exponenten und n eine Constante bedeutet. Die wahrscheinlichsten Werthe von x stellten sich aus den einzelnen Reihen ziemlich verschieden heraus und schwankten sogar zwischen 0,6 und 1,5. Die gröfsten Abweichungen wurden aber jedesmal beim ersten Schlage bemerkt, dessen Wirkung auch am wenigsten sicher gemessen werden konnte. Bei den zugespitzten Pfählen war überdiefs der anfängliche sehr bedeutende Einflufs der Spitze nicht zu beseitigen, woher ich dieser Untersuchung allein die stumpf abgeschnittenen Stäbe zum Grunde legen durfte. Hiernach ergab sich der Exponent ungefähr gleich 1, so dafs für jede Reihe das Product τz eine constante Zahl bildete. Der Werth derselben oder n ergab sich für verschiedene Schüttungen trocknen Sandes und bei den gewählten Dimensionen der Pfählchen und des Rammklotzes:

1) bei möglichst loser Schüttung

$$n = 0{,}783$$

2) wenn der Sand etwa 6 Zoll tief herabgefallen war, sich also etwas fester abgelagert hatte

$$n = 0{,}622$$

3) bei schichtenweiser Anschüttung und jedesmaligem sanften Andrücken des trocknen Sandes

$$n = 0{,}261$$

4) nach vielfachem Einstofsen eines starken Drahtes

$$n = 0{,}211$$

In welcher Beziehung diese Constanten mit dem Drucke stehn, unter dem die Pfähle weiter herabsinken, soll im folgenden Paragraph untersucht werden, so wie alsdann auch davon die Rede sein wird, wie man die mechanischen Verhältnisse beim Eindringen der Pfähle in den Boden aufzufassen pflegt. Hier mag nur ein Umstand erwähnt werden, der von grofsem Einflusse ist und auf den auch Weisbach und Whewell aufmerksam gemacht haben. Er betrifft die Beschaffenheit des Holzes sowol in den Pfählen, als in den Rammklötzen. Die Wirkung des Schlages äufsert sich am vollständigsten, wenn beide Körper möglichst hart sind, in dem entgegengesetzten Falle wird ein Theil der ausgeübten Kraft auf die Lösung und Biegung der Fasern verwendet. Zum Theil läfst sich eine solche Schwächung nicht vermeiden und namentlich in der vom Schlage getroffenen Oberfläche des Pfahles. Hierauf beruht die §. 35 bereits

erwähnte Erfahrung, dafs dieselben Schläge auffallend weniger wirksam werden, sobald der Klotz nicht mehr unmittelbar den Pfahl trifft, vielmehr ein Aufsetzer oder Knecht dazwischen gestellt ist. Noch auffallender schwächt sich die Wirkung, wenn in dem Hirnholz, auf welches der Klotz fällt, die Fasern sich trennen und umlegen und oft ein dickes Polster bilden, das man möglichst bald entfernen mufs. Es begründet sich hierdurch die Regel, dafs man nur gesundes und kräftiges Holz zu Rammarbeiten verwenden darf. Ist dieses der Fall, so hört man den Klotz scharf aufschlagen, und sieht auch wohl, wie er nach dem Schlage von selbst sich wieder etwas erhebt.

Wenn man die Pfähle mit Spitzen versieht, so ist besonders darauf zu achten, dafs diese weder selbst zu scharf, noch auch dafs die Kanten zwischen ihren Seitenflächen zu schwach werden, denn in diesem Falle brechen und spalten die dünnen Holztheile aus, und indem dadurch die noch übrigbleibende Spitze mehr nach einer Seite gerichtet werden kann, als nach der andern, so dringt der Pfahl schräge ein und erfährt überdies einen gröfseren Widerstand. Jedenfalls genügt es, der Spitze den doppelten Durchmesser des Pfahles zur Länge zu geben, wie dieses auch gewöhnlich geschieht, häufig mifst diese Länge sogar nur das Ein- und Einhalbfache des Durchmessers, oder noch weniger. Aufserdem mufs das äufsere Ende der Spitze noch abgestumpft und in eine flache Pyramide verwandelt werden. Die Spitze wird mit quadratischem Querschnitte oder in Form einer vierseitigen Pyramide zugeschnitten, wie Fig. 197 zeigt. Sie läfst sich auf diese Art am leichtesten abschnüren und bearbeiten, und die Seitenflächen treffen dabei unter einem stumpfen Winkel gegen einander. Man giebt zuweilen auch der Spitze die Form einer dreiseitigen Pyramide, und zwar um das Drehn des Pfahles zu verhindern, doch wird dadurch eine Beschädigung leichter möglich, weil alsdann die Seitenflächen unter spitzen Winkeln zusammenstofsen.

Um die Beschädigung der Pfahlspitzen beim Einrammen namentlich in festem Boden zu verhindern, hatte man früher, wie Perronet erwähnt, die Methode, die Pfähle mit ihren Enden über ein helles Feuer zu legen, so dafs die Spitzen in ihren äufsern Flächen sich etwas verkohlten, doch war dieses gewifs nicht passend, denn wenn man dadurch auch vielleicht das Absplittern verhindern

möchte, so wurde das Ausbrechen um so leichter möglich. Dagegen pflegt man häufig die Spitze mit Eisen zu beschlagen oder einen Pfahlschuh darauf anzubringen. Fig. 198 zeigt einen solchen. Er besteht aus einer eisernen Pyramide, welche die Spitze des Pfahles bildet, und an diese sind zur Seite vier Federn angeschmiedet, welche auf die Seitenflächen der Pahlspitze mittelst starker Nägel befestigt werden. Das Aufbringen der Pfahlschuhe erfordert grofse Sorgfalt, weil eine innige Berührung zwischen dem Holz und Eisen stattfinden mufs. Die Spitze des Pfahles, der mit dem Schuhe versehn werden soll, darf nicht zugeschärft sein, sondern mufs senkrecht abgeschnitten werden, so dafs sich eine quadratische Grundfläche von 4 bis 9 Quadratzoll bildet. Eine eben so grofse und ganz ebene Fläche mufs der Pfahlschuh enthalten, damit ihn der Druck und der Stofs des Pfahles gleichmäfsig trifft. Wenn man auf diesen Umstand nicht aufmerksam ist und vielmehr die Verbindung nur durch die Federn und Nägel darstellen will, so bildet sich leicht ein ungleichmäfsiger Widerstand und der Pfahlschuh verschiebt sich. Bei der grofsen Anzahl alter Pfähle, die ich am Pillauer Hafen ausziehn liefs, waren diejenigen, welche vor dem sogenannten hohen Bohlwerke steckten, sämmtlich mit Pfahlschuhen versehn, aber kaum beim zehnten Theile derselben safs der Schuh noch in der Achse des Pfahles. Fast jedesmal hatte er sich seitwärts geneigt und häufig war er normal gegen den Pfahl gerichtet, oder er hatte sich sogar aufrecht gekehrt, indem alle Federn bis auf eine abgebrochen waren. Es bedarf kaum der Erwähnung, dafs der Schuh, sobald er sich schief stellt, das Eindringen des Pfahles mehr erschwert, als erleichtert, also seinen Zweck ganz verfehlt, und sogar höchst nachtheilig wirkt.

Man mufs sonach dem Schuh eine sichere Befestigung geben, auch darf derselbe nicht heifs aufgebracht werden, weil dadurch jene Ebene, auf welcher der Pfahl ruht, verkohlt und sonach die unmittelbare Berührung des festen Holzes mit dem Eisen verhindert würde. Ferner ist es nothwendig, dafs der Schuh aus einer hinreichend grofsen Eisenmasse besteht, damit jene Berührungsfläche die erforliche Ausdehnung erhält. Der letzte Umstand war wohl vorzugsweise Veranlassung zur Verschiebung jener in früherer Zeit in Pillau angewendeten Pfahlschuhe, die durchschnittlich nur 5 und zuweilen sogar nur 3 Pfund wogen. Ein Gewicht von 10 Pfund dürfte das

Minimum sein, was auf jeden Pfahlschuh gerechnet werden mufs, sehr häufig ist es aber noch gröfser. So wendete Telford bei den Fangedämmen des St. Katharine's Docks in London Pfahlschuhe an, die 16 Pfund wogen. Beim Bau der Brücke zu Neuilly benutzte Perronet dergleichen von 25 Pfund, und de Cessart wandte beim Bau der Brücke zu Saumur Pfahlschuhe von 25 bis 30 Pfund an. Viel gröfser ist indessen noch das Gewicht der gufseisernen Pfahlschuhe. Fig. 199 *a* und *b* zeigt in der Seitenansicht und im Durchschnitte einen solchen, wie ihn Deschamps angiebt. *) Die ebene Fläche, in welcher sich der Pfahl und der Schuh berühren, hat die halbe Stärke des Pfahles zum Durchmesser, woher das Gewicht des Schuhes bei 10 Zoll starken Pfählen schon gegen 50 Pfund beträgt. Batsch **) führt an, dafs er bei einer Kaimauer in Paris dergleichen habe anwenden sehn, die 30 Kilogramme oder 60 Pfund wogen. Die Zeichnung, die von Batsch mitgetheilt wird, unterscheidet sich von der hier gegebenen dadurch, dafs der Schuh nicht einen Kegel, sondern eine vierseitige Pyramide bildet, also auf einen beschlagenen Pfahl pafst. Diese gufseisernen Schuhe sind statt der Federn mit einem sie umgebenden Rande versehn und ihre Befestigung im Pfahle erhalten sie durch einen eingegossenen Dorn aus Schmiedeeisen, der Widerhaken hat und in den Pfahl eingreift.

In neuster Zeit wendet man in Frankreich vielfach die von Camuzat angegebenen Pfahlschuhe an. Dieselben bestehn aus einer pyramidalen oder kegelförmigen Hülse aus Blech von 1 bis 1½ Linien Stärke, die durch einen doppelt übergebogenen Rand in ihrer Form gesichert ist, und deren unteres Ende an einen masiven schmiedeeisernen Kegel oder Pyramide angeschweifst ist. Nach sorgfältiger Bearbeitung der Pfähle werden sie auf diese aufgenagelt. Bei dem bereits erwähnten Bau der Brücke la belle Croix zu Nantes gab man ihnen das Gewicht von 36 Pfund, und bei vorsichtiger Behandlung soll es gelungen sein, sie selbst durch altes Mauerwerk hindurch zu treiben. Dabei war man aber sehr aufmerksam, sobald ein starker Widerstand sich zeigte, die Hubhöhe der 1400 bis 2000 Pfund schweren Klötze der Kunstrammen zu mäfsigen und durch

*) *Nouvelle Collection de dessins relatifs à l'art de l'Ingénieur.*

**) Hydrotechnische Wanderungen. Bd. II. S. 39.

anhaltende schwache Schläge die festen Massen zu durchbrechen, weil sonst die Pfähle und Schuhe litten. *)

Es entsteht die Frage, ob, und in welchem Falle Pfahlschuhe nothwendig sind. Es ist klar, daſs sie in weichem Grunde nichts weiter nützen können, als daſs sie vielleicht die Reibung an der Spitze des Pfahles etwas mäſsigen, doch ist dieses sehr gleichgültig, weil der frische Grund, den die Pfahlspitze erreicht, noch keinen starken Druck dagegen ausübt. Die gröſste Reibung findet gegen die Seitenwände des Pfahles statt, soweit derselbe seine volle Stärke hat, und hierauf übt der Pfahlschuh augenscheinlich keinen Einfluſs aus. Sein Zweck ist nur, die harten Körper, die in der Richtung des Pfahles liegen, zu durchstoſsen, oder zur Seite zu drücken. Es ist aber nicht zu bezweifeln, daſs, sobald ein groſser und fester Stein getroffen wird, derselbe dem Pfahlschuh eben so wenig ausweichen oder nachgeben kann, als der hölzernen Spitze, und bei festen Holzstämmen, die im Grunde liegen, dürfte wohl dasselbe stattfinden. Es bleibt also ein Vortheil des Schuhes nur noch in dem Falle denkbar, wenn der berührte Körper keinen bedeutenden Widerstand leistet, wobei aber doch die hölzerne Spitze des Pfahles beschädigt werden möchte. Für diesen Fall wäre der Vorzug des Pfahlschuhes noch immer wesentlich, wenn man sicher wäre, daſs er nicht leidet, auch seine Stellung nicht verändert, aber eben dieses darf man kaum voraussetzen, da seine Verbindung nie ganz fest ist, und die angeführten Erfahrungen auch zeigen, daſs die Nägel leicht nachgeben, sobald die Tendenz zu einer Verschiebung vorhanden ist. Dazu kommt noch, das der Stoſs bei der Uebertragung gemäſsigt wird, woher man annehmen kann, daſs in vielen Fällen die unbedeckte Spitze leichter eindringt, als der Pfahlschuh. Bei dem aus grobem Sande bestehenden Boden in Pillau bestätigte sich diese Vermuthung vollständig: die Pfähle, welche mit keinen Schuhen versehn waren, zeigten, wenn ich sie mitunter nach kurzer Zeit (wenn sie etwa vom Eise durchschnitten waren) ausziehn muſste, allerdings eine rauhe Oberfläche und die Enden der Fasern des Kiefernholzes hatten offenbar beim Einrammen sich zurückgelegt, auch waren hin und wieder starke Eindrücke zu bemerken, die wohl vom

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1865. *I. pag.* 40.

Aufstoſsen auf harte Körper herrühren mochten, und zuweilen war die äuſsere Spitze etwas breit geschlagen. Ich konnte indessen niemals eine solche Beschädigung wahrnehmen, die eine merkliche Erschwerung des Eindringens des Pfahles hätte vermuthen lassen, und aus diesem Grunde prüfte ich durch einen sehr überzeugenden Versuch den Nutzen, den die Pfahlschuhe unter diesen Verhältnissen gewährten. Ich lieſs nämlich an derselben Stelle, wo sie bisher immer angewendet waren, abwechselnd einen Pfahl um den andern damit versehn und es ergab sich, daſs die Pfähle ohne Schuhe etwas leichter eindrangen, als die, welche einen solchen hatten. Es sind später auch bei andern Bodenarten, und namentlich bei Kiesboden, und mit schwereren Pfahlschuhen ähnliche Versuche gemacht, die auch ergaben, daſs man durchschnittlich wenigstens keinen Unterschied bemerken konnte. *) Hiernach scheint der Nutzen der Pfahlschuhe sehr zweifelhaft zu sein, jedenfalls wird er aber nur in seltenen Fällen eintreten, und um ihn zu erreichen, ist die Anwendung schwerer und sehr sorgfältig bearbeiteter Schuhe nothwendig, welche nicht ohne bedeutende Kosten zu beschaffen sind.

Bei Ausführung der meisten Bauten fehlt es nach Feststellung des Projectes an Gelegenheit, oft aber auch an dem guten Willen zur Anstellung vergleichender Versuche. Wenn man aber ausgedehnte Rammarbeiten leitet und vorher überzeugt ist, daſs die Anwendung der Pfahlschuhe nothwendig sei, so wird man nach glücklicher Beendigung des Baues auch jedesmal überzeugt sein, daſs die Pfahlschuhe von wesentlichem Nutzen gewesen. Zuweilen treten indessen doch Umstände ein, die ein sicheres Urtheil darüber gestatten. Dazu diente schon jenes Ausziehn der Pfähle; ein andrer Fall dieser Art ereignete sich beim Bau des Viaducts bei Tarascon. Daselbst war eine Pfahlwand noch nicht gegen Ausspülung gesichert, als bei einer plötzlichen Anschwellung der Rhone der Grund um dieselbe so tief ausgewaschen wurde, daſs die Pfähle ganz entblöſst wurden und an den Holmen hingen. Die Untersuchung ergab, daſs kein einziger Pfahl noch den Schuh trug, mit

*) Auch bei dem sandigen, mit etwas Lehm gebundenen Boden, bei Dirschau, worin die Pfähle schwer eindrangen, bemerkte Lentze dasselbe. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleiſses. 1848. S. 153.

dem man ihn vor dem Einrammen versehn hatte, auch dafs vielfache Brüche im Holze vorgekommen waren. *)

Was die Bearbeitung der Pfähle betrifft, so mufs bemerkt werden, dafs sie vor dem Einrammen am Kopfe recht eben und zwar senkrecht gegen ihre Achse abgeschnitten werden müssen. Um aber ein Aufspalten des Kopfes zu verhindern, was besonders in dem Falle zu geschehn pflegt, wenn der Schlag nahe an den Rand trifft, so mufs man die Kanten an der Oberfläche brechen. Zuweilen versieht man auch zu demselben Zwecke jeden Pfahl mit einem Ringe, wie dieses bereits bei Gelegenheit der Kunstramme bemerkt ist. Aufserdem legen sich, wenn der Rammklotz längere Zeit hindurch den Pfahl getroffen hat, die sämmtlichen Holzfasern um, und bilden dadurch eine weiche Unterlage, die den Effect der Ramme ungemein schwächt. Sobald dieses geschieht, mufs man einige Zoll weit den Pfahl abschneiden, um frisches und festes Holz dem Schlage des Rammklotzes auszusetzen. Der Nutzen hiervon zeigt sich oft auf eine überraschende Art, indem der Pfahl sogleich wieder weit leichter eindringt. Dieselbe Wirkung übt zuweilen eine geringe Verstellung der Ramme, wodurch der Schlag des Klotzes mehr nach der Achse des Pfahles geführt wird, und überhaupt ist eine unausgesetzte Aufsicht auf die Rammarbeiten zu deren Beschleunigung und Erleichterung dringend nöthig.

Wenn mehrere Reihen von Rostpfählen hinter einander eingerammt werden sollen, so entsteht die Frage, ob man mit den äussern oder mit den innern den Anfang zu machen hat. Gewöhnlich wählt man das erste, weil durch die äufsern Pfähle schon der Boden in der Mitte der Baugrube comprimirt wird und die hier einzurammenden Pfähle daher schneller den für erforderlich erachteten Widerstand zeigen. Da jedoch die Spannung, welche ihr tieferes Eindringen verhindert, sich mit der Zeit wieder ausgleicht, so können sie dadurch auch leicht so lose werden, dafs der ganze Pfahlrost weniger feststeht, als wenn man mit den innern den Anfang gemacht und die Compression des Bodens allmälig nach der Seite hin getrieben hätte. Hiernach dürfte es sich empfehlen, zuerst die innern Pfähle einzutreiben. Wo Spundpfähle vorkommen,

*) Förster's allgemeine Bauzeitung. 1861. Seite 180.

findet jedoch diese Regel eine Ausnahme, weil die Spundwand sich im festen Boden weniger genau ausführen läfst.

Es ist schon früher von manchen Eigenthümlichkeiten die Rede gewesen, die sich in verschiedenen Bodenarten beim Einrammen der Pfähle zuweilen zu erkennen geben. Hierher gehört, dafs mancher Boden so elastisch ist, dafs er mit dem Pfahle zugleich sich senkt, und sonach die beabsichtigte Wirkung der Ramme ganz aufhört. Man hat in solchem Falle eine Belastung des Pfahles angebracht, passender möchte es aber sein, das Moment des Stofses zu vermehren, oder den Klotz aus gröfserer Höhe fallen zu lassen. Andrerseits hat es sich hin und wieder auch ereignet, dafs Pfähle, die bereits gesetzt waren, sich plötzlich wieder hoben. Einen solchen Fall erzählt Perronet bei Gelegenheit der Brücke zu Orleans, woselbst ein Quell den Grund rings um einen Pfahl so auflockerte, dafs letzterer sich löste und heraufschwamm. Dasselbe geschah auch auf einer Schleusenbaustelle im Bromberger Canale. *) Der Boden bestand daselbst aus Thon, der auf Sand lagerte, und nachdem man die Rammarbeiten beinahe beendigt, auch bereits die Fachbäume auf die Spundpfähle aufgebracht hatte, so hoben sich plötzlich alle Pfähle und Spundpfähle und letztere so stark, dafs sie den darauf liegenden Fachbaum sogar 9 Zoll aufwärts bogen. Man schrieb dieses Ereignifs der starken Seitenbelastung des Terrains und der geringen Consistenz des Thones zu, es möchte indessen die Hauptveranlassung dafür wohl in den Quellen zu suchen sein, die man durch das Trockenlegen der Baustelle hineinleitete und welche den Boden erweichten und ihn zugleich mit den bereits eingerammten Pfählen aufhoben. Man hat auch sonst dieselbe Erscheinung bemerkt, sie wiederholt sich aber immer nur da, wo durch starkes Wasserschöpfen eine feste Sandschicht in Triebsand verwandelt wird. Zuweilen will man auch wahrgenommen haben, dafs durch den Druck der später eingerammten Pfähle die früheren gehoben wurden, und eben um dieses zu vermeiden, hat man empfohlen, die Stammenden nach unten zu kehren.

Dafs die Pfähle, wenn die Rammarbeit einige Stunden unterbrochen war, gewöhnlich wieder merklich leichter ziehn, als vor

*) Praktische Anweisung zur Wasserbaukunst von Eytelwein. Heft I. S. 55.

dem Eintritt der Pause, ist bereits erwähnt worden. Die Erklärung dafür ist aber diese, dafs die Compression des Bodens unmittelbar neben dem Pfahle sich nach und nach etwas vermindert, oder die Erdtheilchen seitwärts ausweichen. Es kann dieses offenbar nur geschehn, wenn der Boden weich ist oder in gewissem Grade eine dicke Flüssigkeit bildet, und es giebt sich diese Erscheinung auch vorzugsweise in einem zähen Thonboden zu erkennen. Bei den Rammarbeiten in Pillau im festen Sandgrunde war ein solcher Einflufs der Pausen weniger auffallend. Andrerseits hat man in sehr seltenen Fällen auch wahrgenommen, dafs die Unterbrechung der Arbeit einen Erfolg hatte, der dem erwähnten gerade entgegengesetzt war, so dafs die Pfähle, wenn sie einige Stunden, oder auch nur kürzere Zeit hindurch gestanden hatten, gar nicht weiter eingetrieben, noch auch herausgezogen werden konnten. Beispiele hiervon sind schon bei Gelegenheit der Beschreibung von Schleusenbauten in England angeführt worden. Die näheren Umstände sind dabei jedoch nicht bekannt, vielleicht wurde durch die Pfähle dem Wasser ein freier Zutritt zu den untern Erdschichten eröffnet, wodurch der bisher trockne Thonboden zu quellen begann und die Reibung sich in hohem Grade vermehrte.

Ferner verdient hier das Drehen mancher Pfähle erwähnt zu werden. Dieses wird nicht immer durch eine äufsere Krümmung veranlafst, sondern vorzugsweise tritt es ein, wenn die Holzfasern in sich schon eine merkliche Windung zeigen, wie man nicht selten findet. Man mufs annehmen, dafs die Erschütterung durch den Schlag des Rammklotzes sich der Länge nach durch die Fasern fortsetzt, und wenn diese nicht gerade sind, so verliert auch der Stofs seine ursprüngliche Richtung. Bei den Bauten in Pillau wurden alle Stämme, welche eine Windung in den Fasern auf einzelnen Stellen und mitunter auf gröfsere Längen bemerken liefsen, nicht zu den eigentlichen Bohlwerken benutzt, weil sie sich nicht regelmäfsig genug einrammen liefsen, wohl aber konnten sie ohne Nachtheil als Eispfähle verwendet werden, das heifst, sie wurden vor das Bohlwerk gesetzt, um das letztere vor dem Angriffe des Eises sicher zu stellen. Bei diesen zeigte sich ein starkes Drehn unter der Ramme, und es sind Fälle vorgekommen, dafs sie, obgleich sie ganz gerade Stämme bildeten, beim Eindringen auf etwa 15 Fufs Tiefe eine volle Umdrehung machten und sonach wieder in ihre ursprüngliche Lage

zurückkamen. Die Drehung erfolgte aber jedesmal in der Richtung, welche die Windung der Fasern angab, so dafs die Erscheinung ungefähr dieselbe war, als wenn diese Fasern, die jedoch gar nicht vortraten, sich in den Boden eingeschroben hätten.

Zuweilen ist man gezwungen, einzelne Pfähle im Felsboden aufzustellen. Wenn man z. B. im Flufsbette unter Wasser auf dem Felsen eine Bétonfundirung ausführen will, so mufs man Rüstungen darüber erbauen, auch die Baustelle einschliefsen, und zu diesem Zwecke ist es nöthig, Pfähle in den Boden einzutreiben. Nur bei sehr weichem Gestein gelingt es, mittelst starker Pfahlschuhe die Pfähle noch einzurammen, doch pflegen sie alsdann den Boden aufzubrechen, so dafs sie keinen festen Stand annehmen. Es bleibt daher nur übrig, das Loch für den Pfahl vorzubohren, in ähnlicher Art, wie man weite Bohrlöcher behufs der Artesischen Brunnen abteuft. Dieses geschah z. B. bei Anlage des Wehrs in dem Doubs-Flusse bei Néwy, welches zur Speisung des Rhein-Rhone Canales erbaut wurde. Der Boden bestand in klüftigem Jura-Kalk und die Fundirung sollte in Béton gemacht werden, man mufste aber die zu versenkenden Bétonmassen dem unmittelbaren Angriffe des Stromes entziehn und deshalb war eine Umschliefsung erforderlich, die man nur darstellen konnte, nachdem einige Pfähle eingerammt waren. Zu diesem Zwecke wurde mit einem Kronenbohrer ein Bohrloch von etwas geringerem Durchmesser, als dem der Pfähle, herabgetrieben, und hierin schlug man mit einer Handramme die Pfähle ein. *) Dasselbe Verfahren zeigte sich auch in einem andern Falle sehr vortheilhaft und ergab überdiefs, dafs solche Pfähle eine sehr feste Stellung annehmen.

Wird ein fester Felsboden durch weiche Erdschichten überdeckt, so kann es leicht geschehn, dafs die letzteren nicht mächtig genug sind, um das Ueberweichen und selbst das Umstürzen der Pfähle zu verhindern, wie dieses zuweilen, z. B. bei der Brücke zu Tours wirklich vorgekommen ist. Man versieht alsdann gewöhnlich die Rostpfähle mit recht scharfen Schuhen, und bemüht sich, sie durch anhaltendes Rammen noch bis zu einiger Tiefe in den Felsen hineinzutreiben. Dieses Verfahren ist aber sehr gefährlich, da der auf der festen und harten Unterlage aufstehende Pfahl von den Schlägen

*) *Recueil de dessins relatifs à l'art de l'Ingénieur. I. Collection.*

des Rammklotzes mehr als sonst angegriffen wird. Wenn er alsdann aber an seinem untern Ende spaltet und bricht oder vielleicht ganz zersplittert, so giebt sich dieses in seinem obern Theile gar nicht zu erkennen. Man bemerkt beim eintretenden Bruche nur, dafs der Pfahl wieder besser zieht als früher, und glaubt alsdann, dafs eine besonders feste Schicht, auf die er getroffen hatte, bereits durchdrungen ist und er nunmehr wieder weichere Lagen durchschneidet, worin er sich gehörig fest und sicher einstellen kann. Sehr interessant sind in dieser Beziehung die Erfahrungen, die man am rechtseitigen Stirnpfeiler der Brücke zu Bergerac über die Dordogne machte. Man schlug hier 15 Pfähle, wie es scheint, nur als Probepfähle ein, und da sie mit Ausnahme eines einzigen so weit herabgetrieben waren, dafs sie tief genug im festen Boden zu stecken schienen, so entschlofs man sich zur Anlage eines Pfahlrostes. Nichts desto weniger war das verschiedenartige Verhalten der Pfähle doch zu auffallend gewesen, um keinen Verdacht wegen ihrer sichern Stellung aufkommen zu lassen, und eine ganz eigenthümliche Beschaffenheit des Grundes mufste man voraussetzen, um den abwechselnden Effect der einzelnen Hitzen zu erklären. Man entschlofs sich hiernach zu einer nähern Untersuchung, und grub den Boden auf. Es ergab sich, dafs die sämmtlichen Pfähle, mit Ausnahme des einzigen, der nur auf eine geringe Tiefe herabzutreiben war, gespalten und gebrochen waren. Ich wähle aus den verschiedenen Gruppirungen der Pfahlstücken, die man hier vorfand, nur eine aus, welche Fig. 200 darstellt. Die sämmtlichen Pfähle bestanden aus starkem und festem Holze und zwar zwölfmal aus Eichenholz und dreimal aus Kiefernholz, doch scheint die Verschiedenheit des Materials auf den Effect keinen Einflufs gehabt zu haben. Jedesmal waren aber schwere Pfahlschuhe und hauptsächlich gufseiserne benutzt worden. *) Auch Beaudemoulin **) erzählt, dafs er einst einen Pfahlrost im Felsboden ausgeführt, und später bei der Ausbaggerung der obersten losen Erdschichten gefunden habe, dafs mehr als die Hälfte der Pfähle bei der Berührung des Felsens in

*) *Nouvelle Collection de dessins etc.* Eine Uebersetzung des Aufsatzes, sowie eine Mittheilung der sämmtlichen Zeichnungen befindet sich auch in Crelle's Journal für die Baukunst. Bd. V.

**) *Annales des ponts et chaussées.* 1839. *II.* *p.* 102.

ähnlicher Art zerbrochen waren. Die früher erwähnte Erscheinung bei der Brücke zu Orleans, wo einzelne Pfähle bald feststanden, andere dagegen bis 60 Fuſs herabgetrieben werden konnten, dürfte sich durch die Voraussetzung ähnlicher Beschädigungen am einfachsten erklären.

Bisher ist nur von hölzernen Pfählen die Rede gewesen, und wenn die eisernen, die in neuerer Zeit besonders in England vielfache Anwendung gefunden haben, auch als eigentliche Rostpfähle nicht benutzt sind, so haben sie doch bereits unter schwierigen Verhältnissen sich bei Fundirungen so sehr bewährt und vergleichungsweise zu andern Constructions-Arten in ihrer Befestigung solche Erleichterungen geboten, daſs ihre nähere Beschreibung nicht umgangen werden kann. Wenn eiserne und zwar guſseiserne Pfähle eingerammt werden, so treten diese Vortheile nicht ein, und über solche ist hier wenig zu sagen. Am häufigsten werden sie zur Darstellung von Spundwänden benutzt, wovon später manche Beispiele mitgetheilt werden sollen, indem man ihnen aber jeden beliebigen Querschnitt geben kann, so pflegt man selbst wenn sie einzeln stehn sie nicht cylindrisch, sondern als Platten zu formen, die durch Verstärkungsrippen die nöthige Festigkeit und Steifigkeit erhalten.

Die wichtigste Art der eisernen Pfähle sind aber die Schraubenpfähle, die nicht mit der Ramme eingetrieben, sondern in den Grund eingeschroben werden. Die Idee, auf diese Weise Pfähle eindringen zu lassen, ist schon früher angeregt worden; Gilly und Eytelwein *) erwähnen derselben als eines „lächerlichen Einfalles", sie durfte auch wohl bei der damaligen unvollkommenen Fabrikation der Eisen-Arbeiten, wenigstens in Deutschland, als ganz verfehlt angesehn werden. Soviel bekannt, ist sie früher auch nie versucht worden, bis Mitchell im Jahre 1838 sich darauf ein Patent geben lieſs und Anwendungen davon machte, die sogleich die allgemeinste Aufmerksamkeit erregten.

Die Schrauben, welche mit den Pfählen verbunden werden, sind in vielen Fällen und namentlich in reinem Sandboden dieselben, welche man zur Befestigung der Buoyen benutzt, also Grundschrauben, deren Beschreibung und Zeichnung im dritten Theil dieses Werkes gegeben ist. **) In dieser Form bestehn sie meist aus Schmiede-

*) Praktische Anweisung zur Wasserbaukunst I. Heft. 1809. S. 34.

**) Seeufer und Hafenbau. Vierter Band. S. 286.

eisen, und halten bis 4 Fufs und darüber im Durchmesser. Sie bilden nur einen einzigen Schraubengang von dieser Gröfse der am untern Ende sehr schnell sich verkleinert und in der Spitze der Spindel in einen Schneckenbohrer sich verwandelt. Die Steigung des Schraubenganges mufs ziemlich niedrig gehalten werden, weil sonst das Eindringen des Pfahles zu viel Kraft erfordert, es ist aber darauf zu achten, dafs dieselbe Steigung, welche der obere Schraubengang hat, bis zur untern Spitze sich fortsetzt. Die Spindel dieser Schraube besteht gleichfalls aus Schmiedeeisen, und ist mit dem Gange innig verbunden. In passenden Gesenken werden beide aus demselben Eisenstücke ausgeschmiedet. Der Gang ist am äufsern Rande etwa ¼ Zoll stark, verstärkt sich aber nach innen immer mehr, so dafs er im Anschlusse an die Spindel 3 bis 4 Zoll dick wird. Später hat Wells sich noch auf eine Abänderung dieser Schraube ein Patent geben lassen, die darin besteht, dafs der äufsere Rand des Gewindes nicht aus gewöhnlichem Schmiedeeisen besteht, sondern aus Stahl, und dafs darin Zähne, wie bei einer Säge angebracht sind, wodurch das Eindringen in unreinen und harten Boden erleichtert werden soll.

Die Spindel hat nach Maafsgabe der Last, die sie tragen soll, 4 bis 8 Zoll im Durchmesser und gewifs ist es vortheilhaft, sie wo möglich in ihrer ganzen Länge, also bis zu derjenigen Höhe, wo sie durch darüber gelegte Rahmstücke mit den andern ähnlichen Spindeln verbunden wird, aus einem Stücke bestehn zu lassen. Beim Bau einer Brücke über die Etsch in Verona waren die Spindeln bei 8 Zoll Stärke sogar 50 Fufs lang. *) Wenn dieses aber nicht geschehn kann, so mufs man dafür sorgen, dafs die übereinander stehenden Theile der Spindel nicht nur fest, sondern auch centrisch mit einander verbunden sind, so dafs ihre Achsen genau in dieselbe gerade Linie fallen. Man pflegt alsdann das eine Ende kegelförmig abzudrehn und das andre, welches etwa den doppelten Durchmesser hat, mit einer entsprechenden Oeffnung zu versehn, so dafs jenes in dieses genau eingreift. Die innige Verbindung zwischen beiden wird alsdann durch fest eingetriebene starke Schlufskeile dargestellt.

Andrerseits bestehn die Schrauben auch häufig aus Gufseisen

---

*) *Civil Engineer and Architect's Journal.* 1867. *p.* 105.

und sind alsdann entweder wieder mit Spitzen versehn, auf denen das Gewinde mit unveränderter Steigung und mit abnehmendem Durchmesser sich fortsetzt, oder der weit vortretende Schraubengang endigt nahe über dem untern Ende einer cylindrischen Röhre. Ist letzteres der Fall, so hat der ganze Pfahl dieselben Dimensionen, auch die gleiche Weite im Innern wie der untere Cylinder. Die durch den Rand des letzteren abgeschnittene Erde kann also im Innern ansteigen. Solche cylindrische Pfähle bestehn aus gufseisernen Röhren, die in den vortretenden Flanschen durch Schrauben-Bolzen mit einander verbunden sind, man giefst auch wohl an die Flanschen zwischen den Schrauben Winkelbänder an, um das Abbrechen zu verhindern. Auch jene mit Spitzen versehene Schrauben pflegen im obern Theile hohle Cylinder zu bilden, die entweder in gleicher Weise mit andern gufseisernen Röhren verbunden werden, oder man streift sie auch über die vorher sorgfältig zugeschnittenen Enden hölzerner Pfähle, auf die sie sicher befestigt werden. Die gufseisernen Schrauben erhalten im Allgemeinen geringere Durchmesser, als die geschmiedeten, doch pflegt man ihnen mehr, als eine Windung zu geben, damit wenn irgend wo ein Stück des Schraubenganges abbricht, sie noch immer vollständig gehalten werden. Bei sehr reinem Grunde, worin man keinen Geschieben begegnet, ist indessen diese Vorsicht entbehrlich.

Der wesentliche Vorzug der Schraubenpfähle vor den eingerammten Pfählen besteht darin, dafs sie auf einer viel gröfseren Grundfläche, nämlich auf der Kreisfläche des Schraubenganges, aufstehn, also selbst in losem Grunde einem weit stärkeren Drucke den nöthigen Widerstand leisten. Dabei sind sie auch nicht der Gefahr ausgesetzt, etwa durch das Eis gehoben zu werden, und aus diesem Grunde eignet sich die Schraube vorzugsweise zur Befestigung von Seezeichen und Buoyen, vor denen Schiffe liegen. Die ganze darauf ruhende Erd- oder Sandmasse, die in gröfserer Höhe einen gröfseren Durchmesser annimmt, also einen umgekehrten Kegel bildet, ruht darauf und müfste herausgerissen werden, wenn die Schraube gehoben werden sollte.

Demnächst ist auch das Einstellen eines Schraubenpfahles unter ungünstigen Verhältnissen bequemer und sicherer, als das Einrammen von Pfählen. Wenn eine feste Rüstung auch immer vorzuziehn wäre, so bieten doch auch zwei fest geankerte Fahrzeuge hierzu

schon volle Gelegenheit. Die Schraubenpfähle lassen sich alsdann leicht an jede beliebige Stelle bringen, und es ist gleichgültig ob sie senkrecht, oder etwas geneigt stehn sollen. Das Einschrauben eines Pfahles ist aber, wenn für hinreichend kräftige Windevorrichtungen gesorgt und Alles gehörig verbreitet ist, meist in wenig Stunden ausführen.

Die erste bedeutende Anwendung fanden die Schraubenpfähle bei Erbauung des Leuchtthurmes auf Maplin-Sand vor der Mündung der Themse *), woselbst neun Pfähle aus gewalztem Eisen bestehend, 20 Fufs tief in den Sand eingeschroben wurden. In gleicher Weise wurden bald darauf andre Leuchtthürme gebaut, und unter diesen ist besonders derjenige an der Küste von Florida wichtig, woselbst ein Korallenriff durchbohrt werden mufste. Später ist diese Constructionsart auch zu andern Zwecken benutzt, so dienten beim Bau des Hafens von Portland hölzerne Pfähle mit gufseisernen Schrauben versehn, als Rüstpfähle, und vielfach hat man eiserne Pfähle in den Grund geschroben, welche eiserne Brücken tragen. Wenn im Gegensatze zu diesen Erfahrungen es hin und wieder nicht geglückt ist, selbst kleinere Schrauben auch nur einige Fufs tief in reinen Sand eindringen zu lassen, so dürfte der Grund davon wohl nur in den mangelhaften Vorkehrungen zu suchen sein, welche die Ausübung der nöthigen Kraft zum Drehn der Schrauben nicht gestatteten.

Am passendsten ist es, wie auch gewöhnlich geschieht, an den obern Theil des Schaftes etwa 8 Hebel von 10 bis 12 Fufs Länge wie Radspeichen zu befestigen und über die gabelförmigen Enden derselben ein starkes Tau oder eine Kette zu legen, welche durch kräftige Winden angezogen wird. Besonders empfiehlt es sich aber, wenn die Gelegenheit dazu es irgend gestattet, zwei Winden auf den gegenüber stehenden Seiten desselben Rades aufzustellen, und beide gleichzeitig wirken zu lassen, weil alsdann der Pfahl keinen Seitendruck erfährt und nur um seine Achse gedreht wird. Im entgegengesetzten Falle ist eine sehr feste Absteifung erforderlich, wobei die starke Reibung gegen die Pfannen nicht vermieden werden kann.

*) Im dritten Theile dieses Werkes ist in Fig. 249 eine Zeichnung dieses Thurmes mitgetheilt.

Um an einem Beispiele die Vorrichtung zum Einschrauben der Pfähle zu erläutern, wähle ich diejenige, welche beim Bau der Brücke über den Festungsgraben bei Königsberg in der Bahn nach Pillau benutzt wurde. *) Der Boden besteht bis zu sehr grofser Tiefe aus weicher Moorerde, woher es darauf ankam, die Pfähle mit möglichst grofsen tragenden Flächen zu versehn. Die Schraubengewinde erhielten daher einen Durchmesser von 5 Fufs, und wurden 22 Fufs tief eingeschroben. Jede derselben mufste 800 Centner tragen, und sie haben diese Widerstands-Fähigkeit auch in der That gezeigt.

Jeder Pfahl besteht aus gufseisernen Röhren von 30 Zoll äusserm Durchmesser und 6 bis 8 Fufs Länge, die mittelst Flanschen und Schraubenbolzen mit einander verbunden sind. Die Wandstärke der Röhren mifst in den Zwischenstücken 1¼ Zoll, in den untern aber, woran das Gewinde angegossen ist, und eben so auch in dem obern Aufsatz-Stücke, dem die Drehung mitgetheilt wird, 2 Zoll. Die Röhre ist unten offen und zwar ist der Rand des untern Stückes nach aufsen zugeschärft, damit der verdrängte Boden in die Röhre selbst aufsteigt.

Figur 217 auf Tafel XVI zeigt neben der Vorrichtung zum Einschrauben auch die verschiedenen Theile der Röhre. Figur 217 *c* stellt das mit der Schraube versehene Stück dar, und die punktirten Linien bezeichnen die erwähnte Zuschärfung. Das Schraubengewinde, welches 15 Zoll vor die Röhre vortritt ist neben derselben 4 Zoll, am äufsern Rande aber 2 Zoll stark, seine Steigung beträgt 10 Zoll. Es beginnt fast unmittelbar über dem untern Ende der Röhre. Fig. 217 *b* zeigt das obere Ansatzstück, welches den Apparat zum Drehn trägt, und zwar sowol im Durchschnitt, wie auch in der Seiten-Ansicht. Letztere läfst eine der beiden eingehobelten Schlitze bemerken, die nebst den darin befindlichen Schlufskeilen in der Ansicht von oben, Fig. 217 *a*, sichtbar sind.

Die letzte Figur stellt das Rad dar, welches zum Drehn des Pfahles dient. Je zwei gewalzte Eisenplatten von ½ Zoll Stärke sind durch aufgeniethete Winkeleisen zu kreisförmigen Scheiben von 6 Fufs Durchmesser verbunden. Die Oeffnung für die Röhre, welche sie umschliefsen ist in ihrer Mitte ausgespart. Zwei solche Scheiben

*) Eine kurze Notiz hierüber befindet sich in Erbkam's Zeitschrift für Bauwesen 1866. S. 473.

liegen im Abstande von 6 Zoll über einander und der Zwischenraum ist theils durch hartes Holz und theils durch vier schmiedeeiserne Blöcke ausgefüllt. Etwa 150 Schraubenbolzen greifen sowol durch beide Platten, wie auch durch die verschiedenen Theile der Füllung hindurch und verbinden das Ganze.

Von den vier Eisenblöcken stehen 2, nämlich *A* und *B* sich diametral gegenüber. Diese sind an der innern Seite eben so wie die obere Ansatzröhre mit Rinnen versehn, und hierin werden die Schlufskeile eingestellt, welche die Drehung der Scheibe der Röhre mittheilen. Durch diese gegenüber stehenden Keile liefs sich aber eine innige Verbindung noch nicht darstellen, hierzu mufsten noch seitwärts Keile eingetrieben werden, und dazu dienen die beiden Blöcke *C*, die gegen einander und gegen *A* um 120 Grade abstehn. Die Keile bei *C* haben allein den Zweck, die Scheibe mit ihren Armen in jeder beliebigen Höhe zu halten, sie treffen daher nur gegen die äufsere Fläche der Röhre. In Fig. 217 *b* ist ein solcher Keil sichtbar.

In diese Scheibe sind 8 Arme von Eichenholz eingelassen, deren jeder am äufsern Ende eine gufseiserne Kapsel trägt, die mit einem Einschnitte zur Aufnahme des Taues oder der Kette versehn ist. An diesen Kapseln sind an jeder Seite noch je zwei Lappen angegossen, worin die Augen von einzölligen Eisenstangen eingreifen und durch Schraubenbolzen daran befestigt sind. An die andern Enden dieser Stangen sind Schraubengewinde, und zwar abwechselnd links und rechts gedrehte, eingeschnitten. Je zwei derselben, die von den nächsten Armen ausgehn, greifen in die mit einander verbundenen Schraubenmuttern in den Schnallen und man kann sonach durch Umdrehn der letztern die beiden betreffenden Stangen beliebig spannen. In dieser Weise werden alle acht Arme unter sich verbunden.

In die Rillen an den Enden der Arme wurde eine starke Kette gelegt, deren Ende durch eine kräftige Winde von acht Mann angezogen wurde. Später hat man aber, wie es scheint, zwei Ketten in gleicher Richtung um das Rad geschlungen, und beide Enden derselben durch Erdwinden, die sich gegenüber standen, angezogen. Diese Anordnung ist unbedingt vorzuziehn, weil der Pfahl alsdann eben so stark nach der einen, wie nach der andern Seite gedrückt, also nur um seine Achse gedreht wird.

§. 38.
Tragfähigkeit der Pfähle.

Indem die Rostpfähle die darauf gestellten Bauwerke sicher tragen sollen, so müssen sie theils in sich so stark sein, dafs sie unter ihrer Belastung weder zerdrückt, noch auch gebogen und gebrochen werden, theils aber müssen sie so fest im Boden stehn, dafs sie bei der spätern Belastung nicht tiefer einsinken und dadurch ein Sacken oder Brechen des Gebäudes veranlassen. In beiden Beziehungen ist es nothwendig, das Gewicht des Baues mit Einschlufs der möglichen fremden Belastung, und wenn die Gewichte nicht gleichmäfsig vertheilt sind, dieselben für die einzelnen Fundamente zu berechnen und den Rost so anzuordnen, dafs auf keinen Pfahl eine Belastung trifft, die ihn beschädigen oder in Bewegung setzen könnte.

Die Gefahr, dafs ein Pfahl der seiner ganzen Länge nach, wenn auch nur in ziemlich losem Boden steht, zerdrückt oder gebrochen werden sollte, ist selten vorhanden und würde nur eintreten, wenn seine Spitze auf einen festen Körper, wie etwa auf gewachsenen Felsen oder auf ausgedehntes Geschiebe träfe, und der darüber befindliche Grund ihm keine Haltung gäbe. Welche Dimensionen er aber in diesem Falle haben mufs, damit er dem senkrechten Drucke widersteht, ergeben die bekannten Gesetze der Statik, woher hier davon abgesehn werden kann.

Wichtiger ist dagegen die zweite Frage, nämlich wie tief ein Pfahl in aufgeschwemmtem Boden eingerammt werden mufs, damit er unter dem gegebenen Drucke nicht weiter einsinkt. Der lose Grund, der die Pfähle alsdann trägt und umgiebt, läfst sie schon während des Rammens zu keinem absolut festen Stande gelangen, denn bei der einzelnen Hitze oder bei mehreren aufeinanderfolgenden Hitzen giebt sich immer noch ein tieferes Eindringen zu erkennen, und wenn dieses vielleicht bei Anwendung der gewöhnlichen Zugramme auch unmerklich werden sollte, so stellt es sich doch wieder ein, sobald man mittelst der Kunstramme einen schweren Rammklotz aus grofser Höhe herabfallen läfst. Nichts desto weni-

ger wird man auf solche Pfähle schon eine gewisse Last mit voller Sicherheit aufbringen können, während sie unter sehr starker Belastung noch tiefer einsinken. Die Abwesenheit eines absolut festen Standes giebt sich also auf zweifache Art zu erkennen, nämlich einmal bei den Schlägen des Rammklotzes, oder durch die mitgetheilte lebendige Kraft desselben, und sodann auch durch den Einfluſs des todten Druckes, welcher von der spätern Belastung herrührt. Es liegt der Gedanke sehr nahe, die Leichtigkeit, womit der Pfahl während der letzten Hitzen noch eindringt, als Maaſsstab für die Festigkeit seines Standes zu benutzen, und man kann nicht zweifelhaft sein, daſs eine gewisse Beziehung zwischen diesen beiden Gröſsen stattfindet. Es rechtfertigt sich auch vollkommen die Annahme, daſs von zweien in denselben Boden und unter übrigens gleichen Umständen eingerammten Pfählen derjenige eine gröſsere Last tragen wird, der in der letzten Hitze weniger tief eindrang, wenn bei beiden derselbe Rammklotz zu gleicher Höhe gehoben wurde und die Hitze aus derselben Anzahl von Schlägen bestand. Wäre man also im Stande, die Beschaffenheit des Baugrundes für die ganze Tiefe, zu welcher der Pfahl eindringt, genau zu bezeichnen, und zwar nicht nur in Bezug auf seine Zusammensetzung, sondern auch auf den Wassergehalt oder auf den mehr oder minder lockern Zustand, und hätte man endlich für alle Modificationen, die hierbei eintreten können, die nöthigen Erfahrungen bereits gesammelt, so wäre es möglich, aus dem Eindringen des Pfahles unter gewissen Schlägen auf seine Tragfähigkeit mit Sicherheit zu schlieſsen. Dieser empirische Weg ist indessen so schwierig, daſs seine Benutzung kaum denkbar ist, und jedenfalls ist er zur Zeit noch nicht geöffnet. Nur da, wo eine groſse Gleichmäſsigkeit des Bodens stattfindet und vielfache Rammarbeiten bereits vorgekommen sind, wird man zu beurtheilen im Stande sein, wie weit man die Pfähle jedesmal eintreiben muſs.

Man hat indessen bisher kaum versucht, diesen Weg zu verfolgen, und sich vielmehr bemüht, unter Zugrundelegung mancher Hypothesen zwischen der lebendigen Kraft und dem todten Drucke einen directen Vergleich anzustellen und denselben so allgemein durchzuführen, als ob er unter allen Verhältnissen gültig und von der Beschaffenheit des Bodens unabhängig wäre. Es ist klar, daſs dieser Versuch miſsglücken muſste, denn die beiden Kraftäuſserungen:

Stofs und Druck, sind so heterogen, dafs sie unter Umständen wohl gleiche Effecte hervorbringen können, sich aber im Allgemeinen nicht in Parallele stellen lassen. Man überzeugt sich leicht, dafs sie in gewissen Fällen unmöglich gleiche Wirkungen haben können. So ist bereits erwähnt worden, wie der Widerstand gegen die Wirkung des Schlages sich wesentlieh vergröfsert, sobald eine weiche Zwischenlage über dem Pfahle sich befindet, während diese auf die Aeufserung des Druckes ohne Einflufs ist. Andrerseits würde ein Pfahl, wenn der Boden aus einer flüssigen Masse bestände, nur so tief eindringen, als der hydrostatische Druck es erlaubt, und wenn er während der schnell aufeinanderfolgenden Schläge einer Hitze auch einen tieferen Stand annähme, so würde er in der darauf folgenden Pause doch wieder aufschwimmen, und sonach beim fortgesetzten Rammen sich ungefähr eben so verhalten, als ob er absolut fest stände, während er bei jeder neuen Belastung auf eine derselben entsprechende Tiefe herabsinken müfste.

Mariotte stellte directe Versuche über den Effect des Schlages an, und fand, dafs ein Gewicht von $2\frac{1}{8}$ Pfund, welches 7 Zoll hoch herabfällt, eine gleiche Wirkung äufsert, wie der todte Druck von 400 Pfund. Giebt man einer solchen Beobachtung, die sich nur auf eine bestimmte Zusammensetzung des Apparates beziehn kann, eine allgemeine Gültigkeit, so ist es leicht, die gewünschte Relation darzustellen. Perronet versuchte dieses und gelangte dadurch zu dem Resultate, dafs man für Zugrammen das Gewicht desjenigen Rammklotzes findet, der zuletzt kein merkliches Eindringen des Pfahles bewirken darf, wenn man das Gewicht, welches der Pfahl tragen soll, durch 1290 oder zu gröfserer Sicherheit durch 645 dividirt. Doch bemerkt Perronet dabei, er habe hierdurch nur zeigen wollen, wie man aus jenen Beobachtungen auf die Tragfähigkeit der Pfähle schliefsen könne, und fügt hinzu, es sei unmöglich, die lebendigen und todten Kräfte mit einander zu vergleichen.

Dürfte man den Widerstand gegen Stofs eben so grofs wie denjenigen gegen Druck, und zwar beide als ein gewisses Gewicht ansehn, welches gehoben werden sollte, so vereinfacht sich die Aufgabe so sehr, dafs sie leicht zu lösen ist. Man denke eine in allen Theilen steife und gewichtlose Wage. In die eine Schale lege man ein Gewicht, welches den Widerstand gegen Druck bezeichnet, und auf die andere lasse man ein kleines Gewicht aus einer gewissen Höhe

fallen, so wird das erste in Folge des Stofses bis zu einer geringen Höhe, die sich leicht berechnen läfst, gehoben werden. Diese letzte Höhe entspricht nach dieser Vorstellungsart der Tiefe, zu welcher der Pfahl bei jedem Schlage eindringt, während das kleinere Gewicht der Rammklotz ist, der aus jener Höhe herabfällt. Vernachlässigt man dabei das Gewicht des Pfahles und macht man zugleich die Voraussetzung, dafs das Gewicht des Klotzes vergleichungsweise gegen den Widerstand verschwindend klein ist, so gelangt man zu dem sehr einfachen Resultate, dafs dasjenige Gewicht, welches der Pfahl so eben noch tragen kann, sich zu dem Gewichte des Rammklotzes verhält, wie die Quadratwurzel aus der Fallhöhe des Klotzes zur Wurzel aus der Einsenkung des Pfahles beim letzten Schlage.

Ich führe diese Auffassung nur an, weil sie manchen Theorien über Tragfähigkeit der Pfähle zum Grunde liegt, in England hat man sogar in dieser Weise Beobachtungen angestellt, die jedoch ganz zwecklos waren, und sich nur gerechtfertigt hätten, wenn es etwa Absicht gewesen wäre, über die Elasticität der Schnüre und andrer Theile des Apparates Versuche zu machen.

De Cessart wählte ein andres Verfahren, um die Wirkungen des Stofses mit denen des Druckes zu vergleichen. Er liefs während er die Brücke zu Saumur baute, eine Ramme zurichten, an der ein Klotz von 600 Pfund Gewicht bis 12 Fufs hoch gehoben werden konnte: hierdurrh stellte er die lebendige Kraft des Stofses in den Versuchen dar. Der todte Druck wurde dagegen durch stark belastete Hebel erzeugt. Um die Wirkungen beider Kräfte sicher wahrnehmen und vergleichen zu können, liefs de Cessart eine Anzahl Bleikegel in derselben Form giefsen, deren Basis 3 Zoll im Durchmesser hielt und deren Höhe 32 Linien betrug, die also im Querschnitt gleichseitige Dreiecke von 3 Zoll Seite bildeten. Der Schlag der Ramme sowohl, als der Druck des Hebels hatten den Erfolg, die Spitzen der Kegel platt zu drücken und kreisförmige Flächen darauf darzustellen, deren Durchmesser man messen konnte. Es wurden nun solche Kegel belastet und zwar mitunter mit sehr bedeutenden Gewichten, so dafs der Druck in einzelnen Beobachtungen nahe an 17000 Pfund betrug. Nachdem auf diese Art die Spitze eines Kegels soweit eingedrückt war, dafs keine weitere Senkung erfolgte, so wurde der Durchmesser der eingedrückten Fläche bestimmt. Alsdann stellte man einen andern Kegel unter die Ramme

und liefs aus einer gewissen Höhe den Klotz darauf fallen, wodurch sich wieder die Spitze in eine kreisförmige Fläche verwandelte. Man maafs diese und war sie etwa kleiner als die erste, so stellte man wieder einen neuen Kegel unter die Ramme und hob den Klotz etwas höher, als früher, und so fort, bis zuletzt gleiche Durchmesser und sonach gleiche Wirkungen sich herausstellten. Es ist nicht zu leugnen, dafs hierdurch ein Vergleich möglich wurde, aber er bezog sich gerade nur auf diese Bleikegel, hätte de Cessart statt des Bleies, Kupfer, Messing oder Eisen gewählt, so würde er andere Verhältnisse zwischen Stofs und Druck erhalten haben. Eine allgemeine Gültigkeit kann man sonach den aus solchen Versuchen hergeleiteten Resultaten nicht beilegen.

Durch einen directen Versuch hatte ich mich schon früher davon überzeugt, dafs die Beziehung zwischen der Tragfähigkeit gleicher Pfähle und ihrem Eindringen in feuchten Sand- und Thonboden unter gleichen Schlägen wesentlich verschieden sei. Zwei Pfählchen von denselben Dimensionen trieb ich nämlich unter gleichen Fallhöhen desselben Rammklotzes so weit ein, bis sie unter den letzten Schlägen zu gleichen Tiefen weiter eindrangen. Die Belastungen, denen sie alsdann Widerstand leisteten, waren keineswegs dieselben, vielmehr sank der im Thonboden stehende Pfahl schon unter einem bedeutend geringeren Gewichte herab, als dasjenige war, welches den andern in Bewegung setzte. Bei Wiederholung des Versuches zeigte sich aber, dafs das erste Gewicht, wenn es auch noch kleiner war und sich sogar auf das des Rammklotzes beschränkte, bei dauerndem Drucke den Pfahl zu tieferem Eindringen veranlafste, wenn dieses unmittelbar nach dem Aufstellen auch nicht geschehn war.

Dieses spätere Einsinken wurde wohl nur dadurch veranlafst, dafs die starke Compression des Bodens in der nächsten Umgebung des Pfahles, welche das Einrammen desselben verursacht hatte, und deren Folge die gröfsere Reibung war, nach und nach sich verminderte, indem einigermaafsen eine Ausgleichung eintrat und die zusammengedrängten Erdtheilchen sich von einander entfernten. Auf diesen Umstand, der auch das leichtere Eindringen des Pfahles erklärt, nachdem die Rammarbeit während einiger Zeit unterbrochen worden, ist schon früher aufmerksam gemacht, er ist aber bei Beurtheilung der Tragfähigkeit der Rostpfähle von grofser Bedeutung,

besonders in nassem Thonboden. Ob in reinem Sandboden und zwar in nassem Sande auch solche Aenderung eintritt, ist nach meinen Versuchen nicht anzunehmen, doch unbedingt zeigte sie sich bei den Rammarbeiten in Pillau, wo der Boden zwar überall aus Sand bestand, jedoch mit thonigen und vegetabilischen Theilchen jedesmal mehr oder weniger versetzt war.

Um diese später eintretenden Senkungen zu beseitigen, stellte ich noch eine Reihe von Beobachtungen mit trocknem Sande und zwar bei verschiedenartiger Ablagerung desselben an. Die Pfählchen und die ganze Vorrichtung zum Einschlagen waren dieselben die im vorigen Paragraph beschrieben sind. Nachdem ich sie 5 Zoll tief in die verschiedenen Schüttungen eingerammt hatte, untersuchte ich ihre Tragfähigkeit, indem ich einen Hebel auf jeden derselben legte, dessen Drehungs-Achse gehörig befestigt war, und auf dem ein Gewicht sich bequem so weit verschieben liefs, bis der Pfahl sich etwas senkte. Die hierbei gefundenen Resultate zeigten grofsentheils bedeutende Abweichungen von den in §. 31. mitgetheilten Beobachtungen, doch rührte dieses wohl grossentheils davon her, dafs die Schüttungen in dem einen und dem andern Falle verschieden waren, auch die Erschütterungen beim Herabfallen des Rammklotzes mochten wohl den Sand fester abgelagert haben. Es ergab sich meist eine gröfsere Tragfähigkeit, als nach jenen Versuchen, dagegen zeigte sich bei dem möglichst fest gestofsenen Sande eine sehr befriedigende Uebereinstimmung, wiewohl dieses mal andre, nämlich quadratische Stäbe benutzt, und diese auch tiefer versenkt wurden. Ich fand nämlich, dafs diese Pfählchen bei der Einsenkung von 5 Zoll durchschnittlich unter dem Drucke von 10,4 Pfund aufs Neue einsanken, während sie nach der obigen Formel

$$\gamma = 1{,}1 + 6{,}1 \,.\, s^2$$

worin s die Einsenkung in Zollen bedeutet, unter dem Gewichte von 153,6 Pfund auf den Quadratzoll, also bei ihrem Querschnitt von 0,073 Quadratzoll, erst bei einer Belastung von 11,2 Pfund hätten sinken sollen. Diese geringe Differenz darf bei der Unsicherheit solcher Messungen nicht befremden, ich mufs aber noch bemerken, dafs die Form der Spitze oder das gänzliche Fehlen derselben keinen Einflufs zu haben schien.

Vernachlässigt man in diesem Ausdrucke für die Grenze der Belastung des Pfahles, das erste Glied, welches bei tieferen Einsen-

kungen verschwindend klein ist, so ergiebt sich aus der Verbindung mit dem §. 37 gefundenen Werthe von τ, dafs bei dieser Ablagerung des trockenen Sandes, die Gewichte, unter welchen derselbe Pfahl bei verschiedener Tiefe einsinkt, umgekehrt den Quadraten seiner Senkung bei den letzten Schlägen proportional ist.

Man darf jedoch aus den oben angeführten Gründen diesem Resultate keine allgemeine Gültigkeit beimessen, und überhaupt sind alle bis jetzt gemachten Versuche, die Tragfähigkeit eines Rostpfahles aus seinem Eindringen während der letzten Rammschläge herzuleiten, als verfehlt zu betrachten. Nichts desto weniger ist es nöthig, hierüber noch Einiges mitzutheilen.

Perronet spricht seine Meinung über diesen Gegenstand in folgender Art aus: „der Rostpfahl darf nur in dem Falle als hinreichend tief eingerammt angesehn werden, wenn er in jeder Hitze von 25 bis 30 Schlägen nur 1 bis 2 Linien eindringt und zwar während mehrerer aufeinander folgender Hitzen. Bei andern Pfählen dagegen, die weniger belastet werden, kann man sich auch damit begnügen, dafs sie in der Hitze noch 6 Linien, auch wohl einen ganzen Zoll eindringen. Das gewöhnliche Gewicht des Rammklotzes für Rostpfähle beträgt 600 bis 700 Pfund, bei stärkeren und längeren Pfählen 1200 Pfund und der Klotz mufs 4½ Fufs hoch gehoben werden. Die Rostpfähle bei der Brücke zu Neuilly hatten 12 Zoll Durchmesser und trugen jeder 105700 Pfund, die bei der Brücke zu Orleans 104900 Pfund. Bei der Brücke zu Tours waren die Pfähle, als die Pfeiler einstürzten, mit 153900 Pfund belastet." „Hiernach," fährt Perronet fort, „bin ich der Ansicht, dafs man einen Pfahl von 8 bis 9 Zoll Stärke nur mit 50000 und einen solchen von 12 Zoll nur mit 100000 Pfund belasten darf."

Hierbei mufs aber erwähnt werden, dafs bei der Brücke zu Neuilly der Boden kiesig war und die Pfähle den Felsboden erreichten. Sie wurden so lange gerammt, bis sie unter dem 1000 Pfund schweren Rammklotze während 16 auf einander folgenden Hitzen, jede zu 30 Schlägen, nur je 2 Linien zogen, oder wenn der 1384 Pfund schwere Bär angewendet wurde, mufsten sie während 12 Hitzen denselben Widerstand zeigen. Beim Bau der Brücke bei Orleans wurde die Rammarbeit etwas früher abgebrochen, nämlich die äussern Pfähle jedes Pfeilers betrachtete man als feststehend, wenn sie bei einer Hitze von 25 Schlägen mit dem 900 Pfund schweren

Klotze noch 1¼ Linien zogen und die innern dagegen schon, wenn sie in der Hitze noch 3 Linien eindrangen. Der siebente Pfeiler dieser Brücke senkte sich aber um 10 Zoll oder um eine Werksteinschicht. Endlich ist bei der Brücke bei Tours zu bemerken, daſs der Grund des Einsturzes derselben, wie schon oben erwähnt worden, wohl nur darin lag, daſs die Pfähle in der umgebenden Erde nicht hinreichende Haltung fanden, also nicht herabgedrückt wurden, sondern umfielen. Alle hier gemachten Angaben beziehn sich übrigens auf Pariser Fuſs-Maaſs.

Sganzin sagt *) in Bezug auf diesen Gegenstand: „die Erfahrung und die Praxis bei groſsen Bauten haben dahin geführt, einen Pfahl als gehörig feststehend zu betrachten, um eine dauernde Belastung von 50000 Pfund zu tragen, wenn er bei Anwendung einer Kunstramme in der Hitze von 10 Schlägen mit einem Rammklotze von 1200 Pfund der 11¼ Fuſs hoch gehoben wird, nur 4,6 Linien weit eindringt, oder wenn die Zugramme angewendet wird, darf er bei der Hitze von 30 Schlägen mit demselben Rammklotze, der 3,7 Fuſs hoch gehoben wird, sich gleichfalls nur um 4,6 Linien senken.“

Bei einem Bau in Berlin, wo die 40 Fuſs langen Rostpfähle so weit eingetrieben waren, bis sie in der Hitze von 20 Schlägen mit einem 5 Fuſs hoch gehobenen Rammklotze von 1650 Pfund nur 4 Linien tief eindrangen, gab sich unter einer Belastung von 43370 Pfund ein Sinken zu erkennen. Der Baugrund bestand aus lockerem, doch sehr sandigem aufgeschwemmten Boden.

In Holland, wo der weiche Grund es fast nie erlaubt, den Pfählen einen so festen Stand zu geben, daſs sie auf die letzte Hitze nur noch wenige Linien ziehn, belastet man sie allgemein mit viel geringeren Gewichten. Bei den Schleusenbauten am nordholländischen Canale ist der einzelne Rostpfahl mit 25000 Pfund belastet und dennoch waren die Mauern im Trocken-Dock am Helder theilweise stark gesunken. Bei andern Schleusen stehn die Pfähle noch näher neben einander, so daſs jeder nur 20000 und mitunter nur 11000 Pfund trägt, wie dieses nach Wiebeking bei der Schleuse am Penningsveer der Fall ist. Bei der sehr wichtigen Entwässerungsschleuse bei Catwyk aan Zee trägt der einzelne Pfahl 16500

*) *Programme ou résumé des Leçons.* 4. *édition.* *I.* *p.* 169.

Pfund, und es ist interessant, dafs man bei Untersuchung des Baugrundes die Länge der Pfähle darnach bestimmte, dafs der Probepfahl auf 20 Schläge mit dem 1100 Pfund schweren Rammklotze noch 4 Zoll eindrang, man meinte, dafs bei gleicher Tiefe die $2\frac{1}{2}$ Fufs auseinanderstehenden Pfähle einen hinreichend festen Stand annehmen würden. *) Dieser letzte Bau hat keine Senkung gezeigt.

Um endlich auch ein Beispiel aus England anzuführen, so erwähne ich, dafs beim Bau des Junction-Dock zu Hull, wo einzelne Pfähle mit einem Gewichte belastet sind, das bis 60000 Pfund steigt, dieselben so lange eingerammt wurden, bis sie in 30 Schlägen von 6 Fufs Höhe, die mit dem 1300 Pfund schweren Rammklotze gegeben wurden, nicht stärker als $1\frac{1}{4}$ Zoll tief eindrangen. **)

Man ersieht hieraus, dafs die Annahmen über die Tragfähigkeit und ebenso die hin und wieder gemachten Erfahrungen sehr verschieden sind, und hierdurch bestätigt sich wieder, dafs man eine allgemeine Regel nicht aufstellen kann, sondern die Beschaffenheit des Grundes jedesmal berücksichtigen und besonders vorsichtig sein mufs, wenn derselbe viele Thontheile enthält. In diesem Falle verursacht dessen Zähigkeit einen grofsen Widerstand gegen das schnelle Eindringen der Pfähle während des Rammens, dieser Widerstand giebt sich aber bei der nachfolgenden dauernden Belastung nicht zu erkennen und man mufs also bei gleichem Ziehn des Pfahles eine viel geringere Beschwerung annehmen, als bei sandigem und kiesigem Grunde zulässig ist.

Es stellt sich durch diese Umstände um so mehr das Erfordernifs heraus, auf alle Erscheinungen, die sich beim Einrammen von Rostpfählen zu erkennen geben, aufmerksam zu bleiben, und es ist nöthig, diese auch gehörig zu notiren. Die Anfertigung sorgfältiger Rammregister gewährt den Nutzen, dafs der leitende Baubeamte sein Verfahren rechtfertigen kann, und überdies wird auch die Aufmerksamkeit geschärft und manchen unangenehmen Folgen dadurch vorgebeugt, dafs bedenkliche Umstände, die sich vielleicht während des Baues schon zu erkennen geben, aufgezeichnet und in ihrer wahren Gröfse ausgedrückt werden. Perronet theilt bei Gelegenheit

---

*) Beilage No. 3 im Rapport wegens Onderzoek omtrent eene Uitwatering te Catwyk aan Zee. 1802.

**) *Transactions of Civil Engineers. I. p.* 33.

der Beschreibung des Brückenbaues bei Neuilly ein Rammregister mit. Jeder Pfahl wurde auf dem Grundrisse mit einer Nummer versehn, dieses Register enthielt aber:

1) den Tag, an welchem der Pfahl zum Stehn kam,
2) die Nummer des Pfahles,
3) seine Länge vor dem Einrammen,
4) seinen mittleren Umfang,
5) das Gewicht des Rammklotzes, womit er eingetrieben wurde,
6) die Anzahl der Arbeiter an der Ramme und
7) die Tiefe, zu welcher der Pfahl eingetrieben wurde.

Es möchte wohl passend sein, in einer achten Spalte noch anzugeben, wie stark der Pfahl während der letzten Hitzen sich senkte. Wenn auf derselben Baustelle auch drei oder mehrere Rammen in Thätigkeit sind, so kann der Aufseher, wenn er jeden Pfahl vor dem Setzen und nach dem Einrammen mifst und die letzten Hitzen beobachtet, diese Notizen leicht sammeln und eintragen.

§. 39.
Spundpfähle.

Die Spundpfähle werden nicht wie die Spitzpfähle in einigem Abstande, sondern so nahe neben einander eingerammt, dafs sie sich unmittelbar berühren, und sind überdies mit Federn und Nuthen oder mit einer Spundung versehn, wodurch die Fuge in den Berührungsflächen zwischen zwei Pfählen gebrochen wird. Sie bilden sonach eine dichte Wand, die man eine Spundwand oder Kernwand nennt. Eine vollkommene Wasserdichtigkeit besitzen solche Spundwände nicht leicht, aber wohl verhindern sie ein starkes Durchströmen des Wassers, sowie auch das Durchfallen der Erde und des Sandes, und wenn ein Thonschlag dagegen gebracht wird, so erhält dieser durch die Spundwand eine so feste Lage, dafs er das Wasser vollständig zurückhalten kann. Der Zweck der Spundwände besteht hiernach vorzugsweise darin, alle Wasseradern, die sich in geringer Tiefe am Boden unter der Sohle der Baugrube befinden, zu unterbrechen, und dieses wird um so mehr erreicht, als die Spundwand ringsumher eine Compression des Grun-

des erzeugt, wodurch das Wasser verhindert wird, sich mit derselben Leichtigkeit, wie früher, hindurchzuziehn. Häufig werden Spundwände nur angebracht, um während des Baues das Wasser abzuhalten. Demnächst aber wird durch die Spundwand die feste Ablagerung der Erde in der Baugrube gesichert, und wenn diese später die starke Belastung erfährt, so nimmt sie früher diejenige Spannung an, welche den nöthigen Widerstand erzeugt, weil die Compression sich gegen das umgebende Erdreich nicht ausgleichen kann. Dieser Zweck ist besonders wichtig, wenn das Gebäude mit breitem Fundamente auf einen weichen Baugrund gestellt wird. Ferner hat die Umschliefsung der Baugrube bei Béton-Fundirungen noch den Zweck, die eingeschüttete Bétonmasse, so lange sie noch weich ist, zurückzuhalten und vor der unmittelbaren Berührung mit fliefsendem Wasser zu schützen. Endlich aber dienen die Spundwände zuweilen auch dazu, ein Unterspülen des Fundamentes zu verhindern, doch darf man in dieser Beziehung sich nicht zu viel von ihnen versprechen, indem sie eine gefährliche Stellung erhalten, wenn sie von aufsen auf den gröfsten Theil ihrer Höhe entblöfst sind. Alsdann können sie nämlich wegen des fehlenden Gegendruckes nicht mehr den nöthigen Widerstand dem Druck der stark comprimirten Erde unter dem Fundamente entgegensetzen.

Beim Einrammen der Spundpfähle kommt es hiernach weniger darauf an, dafs sie zu einer grofsen Tiefe herabreichen und so fest stehn, wie Rostpfähle, als vielmehr, dafs sie gehörig in einander greifen und keine weit geöffneten Fugen zwischen sich lassen. Der Rostpfahl erfüllt noch seinen Zweck, wenn er sich auch nach der einen oder der andern Seite überneigt, die Spundpfähle dürfen dagegen nicht aus der Ebene der Wand ausweichen, weil dabei unfehlbar die Federn oder die Backen zur Seite der Spundung brechen und alsdann weite Fugen sich bilden. Hiernach ist ein reiner Baugrund dringend erforderlich, und man thut wohl, sich hiervon schon vorher zu überzeugen, indem man das Sondireisen fleifsig gebraucht und in der Richtung der Wand den Boden aufgräbt. Wenn man aber beim Eintreiben der Spundpfähle bemerken sollte, dafs etwa ein grofser Stein, den der Pfahl nicht seitwärts schieben kann, oder ein Stück Holz im Grunde liegt, so bleibt nichts übrig, als die Pfähle wieder auszuziehn und durch Graben und Baggern, oder durch Anwendung von Zangen das Hindernifs zu entfernen. Eine

solche Unterbrechung und zweimalige Wiederholung derselben Arbeit ist aber störender und kostbarer, als wenn man vorher den Grund genau untersucht hätte. Auch im reinen Baugrunde muſs man für die möglichste Erleichterung der Rammarbeit sorgen, denn jeder besonders groſse Kraftaufwand setzt die Spundpfähle schon in Gefahr, und deshalb macht man, wenn Rostpfähle oder andere Pfähle daneben eingerammt werden sollen, jedesmal mit dem Rammen der Spundwand den Anfang.

Wenn die Spundwand, wie häufig geschieht, die Baugrube vollständig umschlieſst, und letztere wegen der Fundirung noch bedeutend vertieft werden muſs, so entsteht die Frage, ob man die Spundpfähle vor oder nach der Vertiefung einrammen soll. Die Erdarbeiten sind ohne Zweifel weniger ausgedehnt, wenn man sie nach Ausführung der Spundwand vornimmt, weil man sie alsdann auf den von diesen umschlossenen Raum beschränken darf, während im andern Falle der umgebende Boden noch abgeböscht werden muſs. Dagegen wird die Ramm-Arbeit wesentlich erleichtert und das Gelingen derselben mehr gesichert, wenn die Vertiefung vorangegangen ist. Häufig ist es nur Aufgabe, die Spundpfähle einige Fuſs tief unter die Sohle der ausgehobenen Baugrube herabzutreiben und alsdann läſst sich die Wand so regelmäſsig und scharf schlieſsend bei dieser Anordnung ausführen, wie es sonst nicht möglich gewesen wäre. Es empfiehlt sich daher wohl unbedingt, mit der Vertiefung den Anfang zu machen. Auch wenn die Spundwand nur auf einer Seite ausgeführt wird, wie etwa vor dem Pfahlroste einer Kaimauer, an welche Schiffe anlegen sollen, und nicht etwa ein nachtheiliges Einstürzen des benachbarten Bodens zu besorgen ist, möchte es passend sein, mit dem Ausbaggern einer Rinne für die Spundwand den Anfang zu machen.

Wenn von den Rostpfählen schon bemerkt wurde, daſs man in den seltenen Fällen, wo sich zufällig die Gelegenheit zur spätern Untersuchung derselben bietet, zuweilen Beschädigungen daran wahrnimmt, die man beim Einrammen nicht bemerkte, so ist dieses bei Spundpfählen noch in viel höherem Grade zu besorgen. Sobald der Spundpfahl gegen einen harten Körper trifft, und von demselben vor- oder zurückgedrängt wird, so springt die Feder oder eine der Backen leicht ab, und es entsteht alsdann eine weit geöffnete Fuge in der Wand, während die Köpfe der Pfähle, die man allein be-

obachten kann, regelmäfsig in einander greifen. Wenn aber auch die Federn und Nuthen unversehrt bleiben, so kann man doch nicht verhindern, dafs vielleicht zwischen zwei Pfählen ein etwas gröfserer Zwischenraum sich bildet, durch den nicht nur Wasser, sondern auch Erde und Sand hindurchdringen. Wollte man diesem letzten Uebelstande durch Eintreiben von keilförmig zugeschnittenen Pfählen begegnen, wie zuweilen geschieht, so würde man dadurch das Uebel nur verstecken, es aber keineswegs beseitigen, und sogar jene nachtheiligen Fugen in der Tiefe noch erweitern.

Von den Vorsichts-Maafsregeln, die man anwenden kann, um eine möglichst dichte Spundwand darzustellen, wird im Folgenden die Rede sein, doch lassen auch diese nur bei reinem Grunde ein günstiges Resultat erwarten. Volle Wasserdichtigkeit hat man wohl nur in wenigen Fällen wirklich erreicht, dabei kommt aber der gute Schlufs der Federn in den Nuthen, der ohne wesentliche Erschwerung der Rammarbeit nicht darzustellen ist, wenig in Betracht, vielmehr gehört dazu, dafs die Backen der Pfähle sich scharf an einander legen. Eine Wand liefse sich daher ohne Spundung sogar noch leichter wasserdicht machen, als mit derselben. Beim Bau einer Eisenbahnbrücke neben Potsdam gelang dieses durch eine Kernwand aus beschlagenem Balkenholze, woselbst die Baugrube 20 Fufs tief unter dem Wasserspiegel der Havel, der sie unmittelbar berührte, nicht nur trocken gelegt, sondern auch stundenlang trocken erhalten werden konnte, während die Pumpen aufser Thätigkeit gesetzt waren.

Andrerseits gelingt es zuweilen, eine Spundwand dadurch zu dichten, dafs man den umgebenden Grund ausbebt, und während die Pumpen in kräftigem Betriebe sind, Sägespähne, Pferdemist und andere sich leicht zertheilende Stoffe, die ungefähr das specifische Gewicht des Wassers haben, von aufsen dagegen wirft, die also in die Fugen der Wand getrieben werden, und diese schliefsen. Das Durchquellen durch den Boden im untern Theile der Wand oder unter derselben läfst sich freilich hierdurch nicht verhindern, doch bietet sich auch dazu die Gelegenheit, wenn in der Baugrube ein Bétonbette dargestellt wird.

Indem beim Setzen eines Spundpfahles jedesmal die Feder in die Nuthe des bereits eingestellten Pfahles oder umgekehrt eingeschoben wird, so erhält derselbe hierdurch schon eine ziemlich sichere

Führung. Man rammt die Pfähle aber niemals einzeln bis zur ganzen Tiefe ein, sondern zwanzig bis dreifsig Stück werden auf einmal gesetzt und mit häufiger Verstellung der Ramme möglichst gleichmäfsig eingetrieben, ja es geschieht nicht selten, dass man Rammklötze von verschiedenem Gewichte anwendet und Anfangs nur sanfte Schläge giebt, während später die schwerere Ramme darüber kommt und die Pfähle zur vollen Tiefe herabtreibt. Bei einer grofsen Ausdehnung der Spundwände verursacht diese Anordnung keine merkliche Vermehrung der Kosten, und trägt sogar wesentlich zur Beschleunigung der Arbeit bei. Man stellt nämlich mehrere Rammen auf, von denen eine der andern folgt und versieht sie mit Rammklötzen von verschiedenen Gewichten. Beim Bau der Brücke zu Moulins benutzte Régemortes vier dergleichen Rammen, von denen eine nach der andern jeden Pfahl der Spundwand eintrieb. Die erste hatte einen Klotz von 300 Pfund Gewicht, die zweite von 500, die dritte von 700 und die vierte endlich von 1500 Pfund. Durch ein solches gleichmäfsiges Bearbeiten einer ganzen Reihe von Spundpfählen verhindert man es am sichersten, dafs sich zwischen je zweien eine zu starke Spannung bildet. Indem nämlich die benachbarten Pfähle abwechselnd in Bewegung gesetzt werden, so gleicht sich eine entstehende Pressung zwischen Feder und Nuthe leichter aus, und die ganze Spannung verbreitet sich mehr gleichmäfsig über alle Pfähle. Es mufs noch bemerkt werden, dafs der Gebrauch der gewöhnlichen Scherramme bei den Spundwänden die Schwierigkeit macht, dafs die Scheren gerade in die Richtung der Wand treffen, also beim tieferen Eindringen der Pfähle den Klotz nicht mehr halten können. Dieses wird jedoch möglich, indem man die Arme des Rammklotzes etwas rückwärts versetzt, oder vier derselben an die innere Fläche des Klotzes bringt, wodurch kein wesentlicher Uebelstand erzeugt wird.

Die Spundpfähle können wie die Spitzpfähle aus den meisten Holzarten bestehn, doch ist es bei ihnen noch nöthiger, dafs die Fasern recht gerade sind, weil sonst die Federn und die Backen der Nuthen leicht ausspringen. Aus diesem Grunde pflegt man gemeinhin Kiefernholz zu wählen. Die Länge der einzelnen Spundpfähle mufs natürlich der Höhe der Spundwand gleichkommen, und es ist hierbei zu erinnern, dafs man die Spundwände nur über das kleinste Wasser vortreten läfst, wenn nicht ihre gröfsere Höhe

während des Baues zur Darstellung eines Fangedammes, oder zur Unterstützung der dahinter liegenden Erde dient. Die Tiefe, zu der man die Spundwand herabreichen läfst, richtet sich wieder nach der Beschaffenheit des Grundes, jedenfalls ist sie aber geringer, als die der Rostpfähle. Es ist gemeinhin auch nicht möglich, ihr eine grofse Tiefe zu geben, denn die Spundpfähle, die sich gegenseitig klemmen, erfahren einen so starken Widerstand, dafs sie nicht ohne Gefahr weit herab getrieben werden können. Insofern aber in gröfserer Tiefe das Vorkommen von Wasseradern immer unwahrscheinlicher wird, so ist es schon aus diesem Grunde nicht nöthig, die Pfähle besonders lang zu machen. Man giebt ihnen nur eine grofse Länge, wenn die Gefahr eintritt, dafs eine starke Auskolkung davor sich erzeugen möchte, denn jedenfalls darf ihr Fufs durch diese nie erreicht werden und sie müssen sogar, wenn sie ihren Zweck erfüllen sollen, die nöthige Haltung im festen Boden finden. Wo aber ein starkes Auskolken zu besorgen steht, ist es bedenklich, die Spundwand dem Angriffe des Wassers und dem einseitigen Drucke des Bodens bloszustellen, und soweit dieses sonst zulässig ist, pflegt man sie noch auf der äufsern Seite durch Steinschüttungen zu sichern.

Die Stärke der Spundpfähle ist theils von ihrer Länge und theils von der Festigkeit des Bodens abhängig, doch bleibt sie meist in den Grenzen zwischen 4 und 10 Zoll. Wollte man Bohlen anwenden, die schwächer als 4 Zoll sind, so könnte man die Spundung darin nicht mehr anbringen, und wenn die Pfähle eine gröfsere Stärke als 10 Zoll erhalten, so wird der Verlust an Holz durch das Anschneiden der Federn zu kostbar, als das man die Spundung noch beibehalten könnte. Man pflegt alsdann nur eine schliefsende Wand zu bilden, in welcher die beschlagenen Pfähle stumpf an einander stofsen. In der Regel erhalten die sämmtlichen Spundpfähle einer Wand gleiche Stärke, eine Ausnahme hiervon machen vorzugsweise die Eckpfähle, welche in den Ecken stehn, wo die Wand aus einer Richtung in eine andre übergeht, und demnächst auch die sogenannten Bundpfähle, die den Anschlufs an eine seitwärts abzweigende Wand darstellen. Indem in beiden Fällen die Nuthen entweder sich nicht gegenüber stehn, oder eine dritte solche noch seitwärts angebracht werden mufs, so ist es nothwendig, stärkeres Holz dazu anzuwenden, um dasselbe aber nicht zu verschneiden, so werden darin nur Nuthen, aber keine Federn angeschnitten, mit

letztern versieht man daher die anschliefsenden schwächern Spundpfähle. Schliefst die Wand eine Baugrube ein, worin ein Béton-Bette versenkt werden soll, so mufs man alle scharf einspringenden Ecken vermeiden, da diese sich nicht sicher füllen lassen, und besonders leicht zu starken Quellungen Veranlassung geben. Es empfiehlt sich daher, die vortretenden Ecken der Pfähle so weit zu brechen, dafs die innern Wandflächen sich unter stumpfen Winkeln treffen, wie Fig. 218 auf Taf. XVI zeigt.

Aufserdem glaubt man zuweilen eine in gerader Linie und ohne Abzweigung fortlaufende Spundwand dadurch zu verstärken, dafs man sie in gewissen Abständen durch stärkere Pfähle unterbricht, wie Fig. 149 auf Taf. XII zeigt. Wenn solche Pfähle zugleich Rostpfähle sind, die also tiefer eingerammt werden sollen, so müssen sie früher, als die zwischen stehenden, und zwar sehr sorgfältig gesetzt und eingetrieben werden, dabei tritt aber der Uebelstand ein, dafs die Zwingen, welche bei Ausführung der Spundung nothwendig sind, sich nicht so regelmäfsig und einfach anbringen lassen, weil diese Pfähle die Fluchtlinien unterbrechen. Indem aber die Verbindung der Spundwand mit den Rostpfählen, wie bereits erwähnt, sich nicht empfiehlt, auch der Zweck der Verstärkung der ersteren durch solche Pfähle aus dem angegebenen Grunde kaum noch erreicht werden kann, so ist es nöthig, sie nur mit besonderer Vorsicht anzuwenden.

Was die Art der Spundung oder den Querschnitt der Federn und Nuthen betrifft, so mufs man von allen complicirten Formen abstrahiren, die ein recht inniges Eingreifen veranlassen sollen, denn bei den starken Schlägen der Ramme ist zu besorgen, dafs die Federn gerade in diesem Falle am leichtesten abbrechen und dadurch die Fuge sich am weitesten öffnet. Ganz ohne Beispiel sind solche Verbindungen aber nicht. Fig. 201 auf Taf. XV zeigt die Spundung, welche Thunberg bei den Fangedämmen bei Carlscrona anwendete *), und Fig. 202 diejenige Spundnng, die ich einst bei einem Siel am rechtseitigen Ufer der Elbe ohnfern Glückstadt sah. Im letzten Falle wurde eine Feder, deren Querschnitt einen doppelten Schwalbenschwanz bildete, zwischen zwei Nuthpfähle eingerammt, wie in der

*) *Essais de bâtir sous l'eau mis en oeuvre par M. Thunberg, publiés par Fellers.* Stockholm 1774.

Figur angedeutet ist. Am häufigsten kommt die in Fig. 203 dargestellte quadratische Spundung vor, wobei die Feder im Querschnitt ein Quadrat bildet, dessen Seite gemeinhin dem dritten Theil von der Stärke des Pfahles gleich ist. Diese Feder läfst sich indessen bei schwächeren Spundpfählen oder bei den sogenannten Spundbohlen nicht mehr mit Sicherheit anwenden, weil sie bei einiger Klemmung zu leicht abbricht. Aus diesem Grunde schmiegt man die Seiten der Feder, wie Fig. 204 zeigt. Man nennt dieses die Keilspundung, die zuweilen auch so gebildet wird, dafs der Querschnitt der Feder sich in ein gleichseitiges Dreieck verwandelt, dessen Seite der halben Stärke des Spundpfahles gleich ist. Es ist indessen nicht vortheilhaft, die vordere Seite der Feder in eine scharfe Kante auslaufen zu lassen. Jedenfalls mufs zwischen der äufsern Fläche der Feder und der Rückwand der Nuthe einiger Spielraum bleiben, damit der scharfe Schlufs nicht hier, sondern zwischen den Backen der Pfähle sich darstellt. Zuweilen werden die Federn und Nuthen nur mit der Queraxt ausgearbeitet, dieses Verfahren ist indessen nicht zweckmäfsig und die Spundung mufs wenigstens mit einem passend gestellten Hobel nachgezogen und die Profile regelmäfsig dargestellt werden, weil sonst bei dem erforderlichen scharfen Schlufs die Reibung zu grofs würde, vortheilhafter ist es aber die Federn und Nuthen mit der Kreissäge einzuschneiden.

Die Spundpfähle werden gemeinhin, wie Fig. 205 zeigt, nur an den breiten Seiten zugeschärft, wodurch sich unter der ganzen Spundwand eine fortlaufende Schneide bildet. Man darf dieselbe indessen nicht an den einzelnen Pfählen abschnüren und anhauen, sondern man legt die bereits mit Federn und Nuthen versehenen Pfähle zusammen und versieht sie gemeinschaftlich mit der Schneide. Man vermeidet dadurch, dafs nicht vielleicht einzelne Pfähle, indem bei ihnen die Zuschärfung etwas mehr nach einer Seite geneigt ist, beim Einrammen die Tendenz zeigen, seitwärts in dieser Richtung auszuweichen. Häufig schneidet man auch auf den schmalen Seiten die Ecken ab, so dafs zwar unter jedem einzelnen Pfahle noch eine Schneide bleibt, aber zwischen je zwei dieser Schneiden ein freier Zwischenraum sich bildet. Dieses Verfahren kommt in England häufig vor. Fig. 209 stellt es dar. Régemortes versah die Spundpfähle mit vollständigen Spitzen, die in beiden Richtungen wie die Spitzen anderer Pfähle zugeschärft waren. Zuweilen schneidet man

die Spundpfähle nur an einer Seite schräge ab, und zwar an der, wo die Nuthe sich befindet, weil die beiden Backen zur Seite derselben beim Eindringen in den Grund besonders leicht beschädigt werden. Fig. 206 zeigt diese Anordnung, wobei man den Vortheil erreicht, dafs der Pfahl mit seinem untern Ende an den bereits gesetzten sich schärfer anschiebt. Ich habe in Holland mehrmals in dieser Art die Spundpfähle zurichten sehn, man ist indessen im Allgemeinen gegen diese Zuschärfung an der schmalen Seite misstrauisch, indem die zwischen zwei derselben gebildeten Zwischenräume leicht Veranlassung geben können, die Pfähle auseinanderzutreiben. Wenn z. B. ein Ast im Grunde liegt und nach der Quere der Spundwand gerichtet ist, so wird derselbe, wenn er von der horizontalen Schneide getroffen wird, entweder durchstofsen oder herabgedrückt werden, geräth er dagegen in einen solchen Zwischenraum und werden die Pfähle zu beiden Seiten abwechselnd tiefer gerammt, so wirkt er wie ein Keil auf die beiden gegen einander geneigten Flächen und trennt die Pfähle.

Um einer solchen Wirkung vorzubeugen und um gleichzeitig den Vortheil einer Zuschärfung in der erwähnten Richtung zu erreichen, hat man zwei verschiedene Mittel angewendet, nämlich einmal hat man aufser der ersten Schneide, die nach der Länge der Wand gerichtet ist, an jeden Pfahl noch eine zweite Schneide nach der Quere angebracht, die auf der äufsern Seite von einer senkrechten und auf der innern Seite von dieser schrägen Fläche begrenzt ist. Fig. 207 zeigt das untere Ende eines auf diese Art zugeschärften Pfahles. Demnächst aber hat man nach Fig. 208 die gewöhnliche Schneide nicht horizontal gehalten, sondern sie ein wenig geneigt. Die letzte Form, die unstreitig einfacher als die erste ist, hat Telford wiederholentlich angewendet, auch habe ich sie in den Spundwänden mancher älteren Ruhrschleusen wiedergefunden.

In manchen Fällen ist es ganz entbehrlich, und es würde sogar nachtheilig sein, durch eine der erwähnten seitlichen Zuschärfungen die Spundpfähle nach einer Seite zu drängen. Wenn etwa zwei Eckpfähle nicht weit von einander entfernt sind, so wird man dazwischen die sämmtlichen Spundpfähle gleichzeitig einrammen, und diese bilden die regelmäfsigste Wand, wenn sie nach Maafsgabe der Reibung, die sie finden, sich in dem Zwischenraume gleichmäfsig vertheilen können. Zuweilen werden auch längere Wände in dieser Art

behandelt, indem man mit dem Einstellen und vollständigen Einrammen einzelner Spundpfähle in Abständen von etwa 10 Fufs den Anfang macht, zugleich aber dafür sorgt, dafs diese möglichst lothrecht und in der Richtung der Wand stehn. Um diese Bedingung zu erfüllen, müssen sie, nachdem sie eingerammt sind, noch mehrere Fufs hoch frei stehn, weil man sich sonst von ihrem lothrechten Stande in beiden Richtungen nicht überzeugen könnte. Solche Pfähle dienen gleichzeitig zur Anbringung der Zwingen, wovon im Folgenden die Rede sein wird. Sobald sie ihren festen Stand erhalten haben, wird der Zwischenraum zwischen ihnen scharf gemessen und darnach die Anzahl und Breite der dazwischen zu stellenden Spundpfähle bestimmt, so dafs diese ohne sich zu klemmen, schliefsend eingebracht und unter Verstellung der Ramme gleichzeitig eingetrieben werden können. Dieses Verfahren wurde beim Bau der Schleusen am Ihle-Canale gewählt, und es gelang dadurch, die Spundwände überaus regelmäfsig darzustellen.

Man versieht zuweilen die Spundpfähle mit Pfahlschuhen, und wenn man im Allgemeinen da, wo eine Spundwand eingerammt werden soll, einen ziemlich reinen Grund voraussetzen mufs, in welchem daher eine solche Vorsicht minder nöthig wäre, so ist andererseits die Schneide leichter einer Beschädigung ausgesetzt, als die Spitze des Rostpfahles. Der Pfahlschuh besteht häufig nur in einem um die Schneide umgebogenen Bleche, welches aufgenagelt wird, zuweilen aber wird ein solcher ganz entsprechend den oben beschriebenen Pfahlschuhen ausgeschmiedet. Fig. 209 zeigt diejenige Form, die für die dichte Pfahlwand (die jedoch keine Spundung hatte) am Fangedamme vor St. Katharine's Dock zu London angewendet wurde. *)

Zu den Spundpfählen wird nicht trocknes, sondern frisches Holz, oder doch solches angewendet, welches im Wasser gelegen hat, auch müssen die daraus geschnittenen Spundpfähle bald eingerammt oder wenigstens vor dem starken Austrocknen gesichert werden. Der Grund, weshalb sie nicht austrocknen dürfen, ist theils, dafs sie sich in diesem Falle werfen und theils, dafs sie beim Setzen zu quellen anfangen. Man könnte freilich glauben, dafs sich ihnen noch ein besonders dichter Schlufs geben liefse, wenn man

*) *Civil Engineer and Architect's Journal. II. p. 234.*

sie trocken in den Boden brächte, es wird alsdann aber die Arbeit zu schwierig und eben deshalb ist ein Brechen der Federn um so mehr zu besorgen. Die Federn können auch nur so lange die einzelnen Pfähle gehörig zusammenhalten, als dieselben willig folgen. Man bemerkt übrigens beim Einrammen von ziemlich trocknen Spundpfählen auch noch den andern Uebelstand, dafs die ganze Wand sich wirft und selbst die Zwingen seitwärts drängt. Die Feder ist 2 bis 3 Zoll lang, daher kann jeder Pfahl schon sehr merklich sich vom nebenstehenden entfernen, ohne dafs die Feder aus der Nuthe tritt. Aus diesem Grunde erscheint es zwecklos, die Pfähle durch eine schräge Zuschärfung ihres Fufses recht fest gegen einander zu treiben, oder dieses durch später einzurammende keilförmige Zwischenpfähle zu thun, oder auch wohl dadurch, dafs man ein starkes Quellen des Holzes eintreten läfst. Da man jedoch auf ein geringes Quellen immer gefafst sein mufs, so ist es passend, jeden Pfahl so zu setzen, dafs er mit seiner Feder in die Nuthe des bereits gesetzten Pfahles eingreift. Letzterer quillt nämlich früher, daher erweitert sich die Nuthe und die Feder findet etwas mehr Spielraum, als im umgekehrten Falle. Von dieser Regel wird jedoch häufig abgewichen, und besondere Bedeutung ist ihr auch nicht beizulegen.

Das Einrammen der Spundpfähle wird vielfach durch manche Umstände erschwert und ist immer mit der Gefahr verbunden, dafs unter den Schlägen des Rammklotzes ein Bruch oder eine Trennung der Wand irgend wo erfolgt, die man gemeinhin gar nicht bemerken kann. Um einer solchen vorzubeugen, giebt es kein sicheres Mittel und man kann sich nur darauf beschränken, Alles zu vermeiden, was den Widerstand und die Klemmung vermehren möchte. Dazu gehört namentlich, dafs die Nuthe in allen Richtungen etwas Spielraum hat und dafs die einzelnen Pfähle nicht zu dicht gesetzt werden, wodurch ihre gegenseitige Reibung vergröfsert wird. Wenn sie vorsichtig bearbeitet, eingestellt und abwechselnd eingerammt werden, so pflegen sie den ihnen gegebenen Abstand auch beim tieferen Eindringen beizubehalten, und wenn ein Pfahl dem andern sich zu sehr nähert, so verursacht der stärkere Druck von dieser Seite, dafs bei dem fortgesetzten Rammen die Pfähle wieder einen etwas gröfseren Spielraum zwischen sich von selbst darstellen. Wenigstens wird dieses bei reinem Baugrunde geschehn. Damit ferner die einzelnen Pfähle nicht aus der Ebene der Wand ausweichen,

wobei die Federn oder Backen brechen, so ist es erforderlich, dafs jede Feder gleich Anfangs beinahe in ihrer ganzen Länge in die Nuthe eingebracht wird und hierin auch immer bleibt, daraus folgt aber, dafs die sämmtlichen Pfähle möglichst gleichmäfsig eingerammt werden müssen.

Man darf nicht besorgen, dafs eine geöffnete Fuge den Zweck der Spundwand vereiteln oder gar den Ruin des Gebäudes jedesmal veranlassen wird. Wäre dieses der Fall, so müfsten solche Unfälle viel häufiger sein, als sie wirklich sind. Nichts desto weniger wird man dergleichen Trennungen doch möglichst zu verhindern suchen, und dieses geschieht am sichersten, wenn man alle Spundpfähle so frei setzt, dafs sie sich nicht klemmen und dafs jede zwei benachbarten Pfähle möglichst gleichzeitig eingerammt werden, damit die Federn immer in der vollen Länge eingreifen. Um eine Spundwand lothrecht und möglichst regelmäfsig einzurammen, ist es nothwendig, den einzelnen Pfählen die gehörige Haltung zu verschaffen. Dieses geschieht am sichersten, indem man feste Zwingen oder Lehren anbringt. Dieses sind zwei Balken, die entweder unmittelbar auf Pfähle verzapft oder auf andere Art befestigt sind, die aber zwischen sich einen Raum frei lassen, dessen Weite die Stärke der Spundpfähle nach Maafsgabe der sorgfältigen Darstellung derselben um 3 bis 6 Linien übertrifft. Hierdurch wird die Wand zwar sicher gehalten, aber die Befestigung einer solchen Zwinge ist auch umständlich und kostbar, indem dazu gemeinhin besondere Pfähle eingerammt werden müssen. Régemortes benutzte hierzu dieselbe Rüstung, die auch zu den andern Fundirungsarbeiten für den Brückenbau gebraucht wurde. Diese Rüstung bestand nämlich in verholmten Pfahlreihen, welche die Richtung der Spundwände kreuzten. Diese Holme wurden an der passenden Stelle durchschnitten und auf die beiderseitigen Enden derselben Rahmstücke mit starken Bolzen befestigt, wodurch die Zwinge sich bildete. Zuweilen rammt man die Rostpfähle der vordern Pfahlreihe schon früher als die Spundwand ein, und die über selbige treffende Rostschwelle kann alsdann als die eine Hälfte der Zwinge benutzt werden, so dafs man nur noch auf der andern Seite für eine ähnliche zu sorgen braucht. Dieses Verfahren ist in Frankreich üblich, und wenn man die Spundwand auf die innere Seite der äufsern Pfahlreihe bringt, so kann

man auch gegen die folgende Pfahlreihe die zweite Hälfte der Zwinge befestigen und sonach das Einrammen von besonderen Pfählen vermeiden. Es ist indessen passender, die Rüstpfähle, welche die Zwinge tragen, nicht zu nahe an die Spundwand zu stellen, noch auch sie besonders tief und nahe neben einander einzurammen, weil hierdurch der Boden neben der Spundwand zu sehr comprimirt wird. Wendet man starkes Balkenholz zu den Zwingen an, so wird eine Unterstützung desselben in 8 bis 12 Fufs Abstand genügen, und man hat gewöhnlich noch Gelegenheit, durch Anbringen von Absteifung, wo eine solche gerade nöthig sein sollte, ein Herausdrängen der Zwingen nach der Seite zu verhindern. Aufserdem aber kann man auch eine sehr sichere Stellung für die Zwingen hervorbringen, wenn man in gewissen Abständen durch sie und durch die Spundwand Schraubenbolzen hindurchzieht. Diese dürfen indessen natürlich nicht durch diejenigen Pfähle reichen, die man gerade einrammt, und sonach mufs man sie bald hier und bald dort anbringen, wodurch leicht eine grofse Menge von Bohrlöchern in die Wand kommt. Als besonders nachtheilig darf man diese Oeffnungen nicht ansehn, bei einiger Aufmerksamkeit ist es auch leicht, sie jedesmal, sobald sie unter der Zwinge vortreten, durch passende Pflöcke zu schliefsen. Eine feste Zwinge ist in Fig. 210 *a* und *b* in der Ansicht von der Seite und im Querschnitt dargestellt. Dieselbe Figur zeigt auch, in welcher Art die Spundpfähle gesetzt werden. Man stellt sie nämlich sehr schräge in die Zwinge ein und richtet sie alsdann auf, wodurch sie sich nahe genug an die bereits stehenden herandrängen. In dieser Stellung erhält man sie vorläufig durch eingeschlagene Klammern, sobald aber die ganze Anzahl von Pfählen, die man auf einmal setzen will, eingebracht ist, so zieht man in der Entfernung von einigen Zollen hinter dem letzten einen starken Schraubenbolzen durch die Zwinge und schlägt hier, jedoch keineswegs besonders fest, einen passend geformten Holzkeil vor, der mit einer recht breiten Fläche sich gegen den letzten Spundpfahl lehnt, worauf jene eisernen Klammern herausgenommen werden. Indem die feste Zwinge, von der bisher allein die Rede war, ziemlich tief angebracht zu werden pflegt, so mufs man befürchten, dafs die sämmtlichen zugleich gesetzten Pfähle sich unten stark zusammendrängen und oben von einander entfernen. Dieses verhütet man am sichersten durch

lose Zwingen, die häufig gleichzeitig mit den festen benutzt werden, wie dieses z. B. durch Régemortes geschah, oft vertreten sie aber auch vollständig die Stelle von jenen.

Beim Einrammen der Spundpfähle muſs man auf jene Keile sehr aufmerksam bleiben, zuweilen springen sie heraus und noch häufiger stellen sie sich so fest, daſs die Backen der Nuthe des nächsten Pfahles, die sie nur auf eine kurze Länge treffen, zerdrückt werden. Man muſs daher in kurzen Zwischenzeiten ihre Stellung untersuchen und sie entweder fester eintreiben oder lösen, es ist indessen vortheilhaft, denjenigen Pfahl, gegen welchen sie sich lehnen, nicht tief einzurammen, und wie die Figur zeigt, die Pfähle in sanftem Uebergange gegen das jedesmalige Ende der Wand ansteigen zu lassen.

Fig. 211 stellt die von Wiebeking vorgeschlagene feste Zwinge dar, die auf schräge eingerammten Pfählen ruht, wobei also die starke Compression des Bodens unmittelbar neben der Spundwand vermieden, und auſserdem der Vortheil erreicht wird, daſs die Spitzpfähle unter der Zwinge, wenn sie auch nur lose eingerammt sind, doch diese wegen ihrer schrägen Stellung sicherer stützen.

Wenn man vor der Ausführung der Spundwand die Baugrube bis zur nöthigen Tiefe ausgebaggert hat, wie oben empfohlen wurde, so trifft die Wand auf den Fuſs der Dossirung, oder auch wohl noch in dieselbe, und indem sie in beiden Fällen auf der einen Seite einem stärkeren Erddrucke, als auf der andern Seite ausgesetzt ist, so hat jeder Pfahl die Tendenz, die lothrechte Stellung zu verlassen, und mit seinem untern Ende weiter nach der Baugrube hin vorzudringen. Einem solchen Ueberneigen können die beiderseitigen Zwingen, wenn sie in gleicher Höhe angebracht sind, nicht vorbeugen und es wäre passender diejenige, welche auf der Landseite sich befindet, möglichst hoch, und die gegenüber befindliche möglichst tief zu verlegen. Bei den Spundwänden, welche die Schleuse des Ihle-Canals umgeben, wurde diese Vorsicht angewendet, wie Fig. 219 auf Taf. XVI zeigt. Hinter die Spundwand wurden Pfähle im Abstande von etwa 10 Fuſs eingerammt, die Köpfe derselben horizontal abgeschnitten und der hintere Rand der obern Zwinge darauf abgeschnürt. Diese Linie bezeichnete die Blattzapfen, mit denen die Pfähle versehn, und woran mittelst versenkter Schraubenbolzen die Zwinge befestigt wurde. Nunmehr rammte man vorsichtig unter fortwäh-

render Beobachtung des Lothes, und zwar in beiden Richtungen, jene Spundpfähle ein, die wie bereits erwähnt als Leitpfähle dienen sollten. Sobald sie fest standen bolzte man unmittelbar über dem Wasserspiegel die untere Zwinge dagegen, die in Verbindung mit der obern Zwinge die dazwischen gestellten Spundpfähle verhinderte, aus dem Lothe zu weichen.

Was die losen Zwingen betrifft, so zeigt Fig. 212 ihre Anwendung. Sie unterscheiden sich von den festen theils durch die geringere Holzstärke (häufig sind es nur starke Bohlen) und theils dadurch, dafs sie allein gegen die Spundwand, nicht aber gegen andere Pfähle befestigt werden. Ein Verstellen der Zwingen wiederholt sich hierbei sehr häufig, und eine gröfsere Zahl von Bolzenlöchern mufs dabei durch die Wand gebohrt werden. Man kann diese Löcher nach dem jedesmaligen Abnehmen der Zwinge sogleich mit hölzernen Nägeln schliefsen und letztere von beiden Seiten abhauen, wodurch sie in keiner Beziehung schädlich bleiben. Es ist noch zu bemerken, dafs das Durchziehn von Schraubenbolzen bei der losen Zwinge nicht zu vermeiden ist, wenn man nicht etwa die auf einmal gesetzten Pfähle ganz für sich behandeln will. Sind die Spundpfähle schon zu einer grofsen Tiefe eingedrungen, so dafs sie fest im Boden stecken, so kann man alle Zwingen entbehren, aber es ist dennoch immer nothwendig, sie nicht zu lange einzeln einzurammen, sondern noch die Ramme zu verstellen.

Um die Spundwand mit einem Fachbaume zu versehn, wird an alle Pfähle ein durchlaufender Zapfen angeschnitten, der in das Zapfenloch des Fachbaumes pafst, welches sich in diesem Falle in eine Nuthe verwandelt, man pflegt aber von einzelnen Pfählen die Zapfen durch die ganze Höhe des Fachbaumes hindurchgreifen zu lassen, so dafs sie von oben aus verkeilt werden können, wodurch die Verbindung besonders fest wird. Indem eine schwache Spundwand nicht die nöthige Breite hat, um einen starken Fachbaum sicher zu unterstützen, so werden daneben noch besondere Pfähle eingerammt, die den letztern tragen und sein Kanten verhindern. Spundwände von sehr geringer Stärke pflegt man aber nicht mit Fachbäumen zu versehn, sondern die Pfähle einzeln an Roetschwellen zu nageln, oder auch wohl an beiden Seiten gegen Zangen zu lehnen, die unter sich mit Schraubenbolzen verbunden sind.

Es ist bereits des bedeutenden Aufwandes an Holz bei Dar-

stellung der gewöhnlichen Spundwände gedacht worden. Wenn etwa der einzelne Pfahl in der Richtung der Wand 10 Zoll mifst und mit einer Feder von 2 Zoll Höhe versehn wird, so nimmt er in der Wand nur die Länge von 8 Zoll ein, weil die Feder in die Nuthe des nächsten Pfahles eingreift. Die Gesammtlänge aller Pfähle in der Richtung der Wand gemessen mufs also um den vierten Theil gröfser sein, als die der Wand ist, und das Verhältnifs wird noch ungünstiger, wenn die Pfähle schmaler, oder die Federn höher sind.

Um diesem Uebelstande zu begegnen versieht man zuweilen die Pfähle nur mit Nuthen, und schiebt in je zwei neben einander befindliche Nuthen eine Feder ein, die beide füllt, und zwar geschieht dieses gemeinhin erst später, nachdem die Pfähle bereits eingerammt sind. Die Feder läfst sich auch in der That nicht früher einbringen, da sie nicht gehörig gehalten werden kann, und sie sogar die Pfähle aus einander treiben würde, sobald sie zufällig bei verschiedener Richtung der letzteren aus einer Nuthe austreten sollte. Wenn indessen die frei neben einander gestellten Pfähle nicht dieselbe Richtung behalten, also nicht in ihrer ganzen Länge eine Nuthe genau auf die andre trifft, so ist auch das spätere Einschieben dieser Federn unmöglich und am wenigsten darf man erwarten, dafs die ausgewichenen Pfähle durch die Federn wieder parallel gestellt werden sollten. In solchem Falle wird die Feder, wenn man sie gewaltsam eintreibt, entweder selbst in der Mittellinie spalten oder eine der anschliefsenden Backen zerbrechen.

Zu gleichem Zwecke ist auch vorgeschlagen worden, abwechselnd die Spundpfähle mit zwei Nuthen und mit zwei glatten Flächen zu versehn, durch die letzten aber an zwei Stellen Riegel durch die ganze Breite des Pfahles durchzuziehen, welche mit ihren Köpfen in die beiderseitigen Nuthen eingreifen. Dabei bleiben aber die Fugen ganz offen, und indem bei eintretender Divergenz der Pfähle jene Zapfen auf einzelne Punkte in den Backen den Druck ausüben, so ist das Ausbrechen der letzteren um so mehr zu besorgen.

Will man die Federn beibehalten und zugleich den Verlust an Material vermeiden, so dürfte der passendste Ausweg noch immer sein, die Federn aufzunageln. Da man aber in allen Fällen auf die Haltbarkeit der Federn, wie der Backen neben den Nuthen kein grofses Gewicht legen darf, so dürfte sich wohl vorzugsweise empfehlen, wie auch in England ziemlich allgemein geschieht, bei

starken Kernwänden die Spundung ganz fortzulassen, und die sorgfältig bearbeiteten Hölzer nur stumpf neben einander einzurammen.

Wenn der Baugrund ziemlich rein, auch die Wand nicht höher als etwa 5 Fuſs ist, so pflegt man statt der Spundwand, eine Stülpwand zu wählen, die sowol in der Ausführung, als auch in Beziehung auf die Beschaffung des Materials viel wohlfeiler ist. Fig. 220 *a*, *b* und *c* auf Taf. XVI. zeigt eine solche in der Seitenansicht, im Grundriſs und im Querschnitt. Nachdem einige Pfähle in der Richtung der Wand leicht in den Grund gestoſsen sind, befestigt man daran hochkantig eine Bohle, die zunächst als Lehre und später zur Verbindung der Stülpwand dient. Neben derselben rammt man Bretter von etwa 2 Zoll Stärke, die unten zugeschärft sind mit der Handramme so ein, daſs sie sich nicht berühren, vielmehr Zwischenräume von 2 bis 4 Zoll frei lassen. Letztere schlieſst man alsdann durch andere Bretter, welche an derjenigen Fläche, mit der sie die ersten berühren, mit Scheiden versehen sind, also beim Einrammen sich von der ersten Reihe nicht entfernen. Zu diesen zweiten Brettern werden gewöhnlich die äuſsern Schaldielen verwendet. Die in solcher Weise dargestellte Wand wird schlieſslich an jene hochkantige Bohle genagelt.

Zuweilen wird die Spundwand auch in der Art ausgeführt, daſs Nuthpfähle in Abständen von etwa 6 Fuſs eingerammt und Bohlen mit ganzer oder halben Spundung nicht vertikal zwischen dieselben gestellt, sondern in horizontaler Lage herabgeschoben werden, wie Fig. 221 *a*, *b* und *c* in der Seiten-Ansicht, im Grundriſs und Querschnitt zeigt. Solche Wand läſst sich natürlich nur so weit abwärts fortsetzen, als der Boden aufgegraben oder ausgebaggert ist, die eigentlichen Zwecke der Spundwand gehen sonach dabei verloren, nichts desto weniger kann auch diese Anordnung in manchen Fällen, wie z. B. bei Umschliessung einer Baugrube, behufs Versenkung des Bétonbettes und bei Fangedämmen noch räthlich sein. Sie gewährt den Vortheil, dass die Rammarbeit eine geringere Ausdehnung erhält und man kann dabei noch ziemlich sicher mehrere Fuſs unter das Wasser herabgehn, indem die Bohlen von oben eingesetzt und nach und nach mit der Handramme gleichmäſsig herabgetrieben werden, doch ist es dabei nothwendig, daſs die Nuthpfähle sehr sorgfältig eingestellt sind. Beim Bau der Eingangs-

schleuse aus dem Rhein nach dem *Ill*-Canale bei Strafsburg hatte man auf solche Art die Umschliefsung der vorher ausgebaggerten Baugrube dargestellt, worin der Béton später versenkt werden sollte, und auch in andern Fällen, besonders in Frankreich, sind solche Wände zu ähnlichen Zwecken benutzt worden. Ich habe jedoch in einem Falle Gelegenheit gehabt, zu bemerken, dafs diese Bohlen, welche zur Einschliefsung des Bétons dienten, nicht nur ganz unregelmäfsig herabgesunken, sondern sogar aus den Nuthen herausgefallen waren, während bei ihrem Herabstofsen diese Unregelmäfsigkeit sich nicht zu erkennen gegeben hatte.

Die Anwendung gufseiserner Spundpfähle ist in neuerer Zeit in England nicht ungewöhnlich, besonders, wenn man nicht sowohl eine Unterspülung des Grundes verhindern, als vielmehr nur während des Baues einen starken Wasserzudrang abhalten will. In diesem Falle werden die Spundpfähle, sobald der Grundbau beendigt ist, wieder herausgezogen, und insofern das Gufseisen nicht quillt und seine Oberfläche nicht in der Art angegriffen wird, wie die des Holzes, so ist das Einrammen und das Wiederausziehn leichter, auch sind solche Spundpfähle keiner Abnutzung unterworfen. Alle diese Umstände empfehlen sie besonders, wenn der Preis des Holzes sehr hoch steht und das Gufseisen dagegen verhältnifsmäfsig wohlfeil ist.

Schon beim Bau des George's Docks in Liverpool wurden im Jahre 1825 dergleichen gufseiserne Spundwände statt der Fangedämme angewendet.*) Nachdem nämlich auf etwa 30 Fufs Länge die Rostpfähle eingerammt waren, wurde ein viereckiger Rahmen hochkantig an die Pfähle gelehnt, so, dafs er sie von aufsen umgab, um aber ein Einbiegen desselben zu verhindern, wurden zugleich die beiden langen Seiten des Rahmens durch zwei Riegel gegen einander abgesteift. Alsdann setzte man die Spundpfähle von aufsen gegen den Rahmen und rammte sie ein. Sie waren 10 Fufs lang und bestanden aus zwei verschiedenen Arten von gufseisernen Platten oder Bohlen die Fig. 222 in den Seiten-Ansichten, in den Längen-Durchschnitten und in ihrer Zusammensetzung zeigt. Die eigentlichen Spundpfähle *a* und *b* waren 14 Zoll breit, 1 Zoll stark, an beiden Seiten mit umgebogenen Rändern,

---

*) Strickland, *Reports on Canals, Railways, Roads etc.*

wie in der Mitte mit je einer Verstärkungs-Rippe versehen. An die Köpfe waren Verstärkungen angegossen, welche die Schläge der Ramme aufnahmen. Sie wurden mit der flachen Seite an jenen Rahmen in der Art gestellt und eingetrieben, dafs sie sich unmittelbar berührten. Zu ihrer Verbindung und zur Schliefsung der Fugen zwischen ihnen dienten andere, ähnlich geformte Pfähle *c* und *d*, gleichfalls von 1 Zoll Stärke jedoch nur 8 Zoll breit. Auch diese hatten umgebogene Ränder, aber ohne Verstärkungs-Rippen. Ihre Köpfe waren gleichfalls verbreitet und zwar auf der convexen Seite, woher bei der Zusammensetzung der Wand die sämmtlichen Köpfe vor deren äufsere Fläche vortraten, wie *e* zeigt. Aus der letzten Figur ergiebt sich, wie die umgebogenen Ränder über einander greifen, und die ganze Wand verbinden. Die punktirten Linien bezeichnen aber die Querschnitte der Pfähle unter den Köpfen. Die Löcher, welche man in den Figuren a und c bemerkt dienen zum Ausziehn der Pfähle, sobald die Wand ihren Zweck erfüllt hat.

Seit diesem ersten Versuche hat man denselben vielfach und zwar mit verschiedenen Modificationen wiederholt. Indem man zunächst noch die breiteren Pfähle mit den umgebogenen Rändern beibehielt, stellte man die Verbindungs-Stücke aus gewalztem starkem Eisenbleche und zwar in derselben Form dar. Man erreichte dadurch den Vortheil, dafs die Ränder noch gehörig in einander griffen, wenn die ersten Pfähle auch nicht genau parallel und in dem richtigen Abstande von einander eingerammt waren. Ueberdiefs liefsen sich bei verschiedenen Breiten der Bleche und verschiedenen Krümmungen derselben auch leicht die Fugen in den Ecken der Spundwand überdecken.

Sodann wurden die Verbindungs-Stücke vielfach ganz fortgelassen, indem jeder Spundpfahl an einer Seite mit einer Nuthe versehn war, worin wie bei hölzernen Pfählen der folgende eingriff, oder man verwandelte die ganze Spundung in eine halbe, wie Fig. 223 im Grundrisse zeigt. Diese Anordnung wurde beim Bau des East-India Dock in London gewählt. Dabei wurde jedoch die Wand in Abständen von 7 Fufs durch stärkere und längere gufseiserne Pfähle unterbrochen, zwischen die jedesmal je 5 Spundpfähle gestellt wurden. Die letzteren hatten 2 Verstärkungs-Rippen.*)

---

*) *Transactions of the Institution of Civil of Engineers. I. pag.* 195.

Andre Modificationen bezogen sich darauf, dafs man die Verstärkungs-Rippen nicht nur auf der innern, sondern zugleich auch auf der äufsern Seite vortreten liefs, und man die Anzahl derselben bei zunehmender Breite der Pfähle vergröfserte. In neuster Zeit hat man indessen überhaupt nicht mehr einzelne Spundpfähle dargestellt, diese vielmehr zu Platten von etwa 6 Fufs Breite vereinigt, die den ganzen Zwischenraum zwischen den gufseisernen Pfählen umspannen. Es wäre auch noch zu erwähnen, dafs man bei Darstellung der Spundwand aus einzelnen Pfählen diese zuweilen am untern Ende noch mit einem Lappen versehn hat, der über den bereits eingestellten Pfahl übergreift und dadurch, gleich der innern Backe einer Nuthe, beide Pfähle in derselben Ebene erhält. Ein solcher Lappen, am untern Ende des Pfahles A (Fig. 223) angegossen, ist durch die punktirten Linien angedeutet, und man sieht leicht, wie dieser in Verbindung mit der auswärts vortretenden Backe diesen Zweck erfüllt, wenn der Pfahl B schon früher eingestellt war.

Ueber das Einrammen der gufseisernen Pfähle ist nur zu bemerken, dafs man sehr starke Schläge dabei vermeiden mufs. Man wendet daher in diesem Falle nicht die Kunstramme an, oder läfst, wenn dieses geschieht, den Klotz nicht höher als 3 bis 4 Fufs heben. Dabei werden freilich auch gufseiserne Rammklötze angewendet, aber auf den Pfahl wird gewöhnlich, um den Schlag zu mäfsigen, ein hölzerner Aufsetzer gestellt, der oft nur aus einer Bohle harten Holzes besteht.

§. 40.
Die Grundsäge.

Wenn die Baustelle mit einem Fangedamm umgeben und trocken gelegt wird, so hat man Gelegenheit, die Pfähle mit gewöhnlichen Sägen abzuschneiden und mit Zapfen zu versehn, wenn man dagegen die Fangedämme ganz umgeht, oder wenn man von der später zu beschreibenden Fundirungsart in Caissons Gebrauch machen will, so müssen die Pfähle unter Wasser horizontal und genau in der bestimmten Höhe abgeschnitten werden, wozu die

Grundsäge dient. Es kommen indessen auch andere Fälle nicht selten vor, wo man Pfähle in gröfserer oder geringerer Tiefe unter Wasser abschneiden mufs, und dieses geschieht auch, wenn es sich überhaupt nur um die Entfernung der Pfähle handelt und ein Ausziehn derselben zu viele Schwierigkeiten machen würde.

Der letzte Fall ist der einfachste, indem es dabei am wenigsten darauf ankommt, dafs der Schnitt genau in einer vorher bestimmten Tiefe und horizontal geführt wird. Man braucht hierbei nur eine auf gewöhnliche Art eingespannte Säge mit einem langen Stiele zu versehn, so dafs sie schräge von einer Rüstung aus oder auch wohl von einem gehörig festgelegten Nachen bewegt werden kann, doch mufs sie zugleich durch eine Stange oder durch ein Seil gegen den abzuschneidenden Pfahl angedrückt werden. Ich habe mit solchen Sägen mehrfach einzelne Pfähle in der Tiefe bis 6 Fufs unter Wasser abschneiden lassen, und wenn die Arbeit auch langsam von statten ging und dabei wenigstens drei Mann angestellt werden mufsten, so liefs sich doch die Absicht jedesmal sicher ausführen. Aehnliche Vorrichtungen sind zu demselben Zwecke vielfach benutzt worden.

Das Sägeblatt wird in einen Bügel eingespannt, der solche Pfeilhöhe haben mufs, dafs man ohne Verstellung der Säge, den Pfahl ganz durchschneiden kann. Aufserdem mufs die Richtung der Säge mit der des Stiels übereinstimmen, und an letzterem befindet sich ein Querarm, der von zwei Arbeitern hin- und herbewegt wird. Das Sägen wird aber noch erleichtert, wenn der Stiel nicht frei schwebt, vielmehr sicher unterstützt wird. Man legt ihn etwa in den Einschnitt einer Bohle, aus dem er sich nicht entfernen darf. Alsdann haben die Arbeiter nur darauf zu achten, dafs die Handhabe beständig horizontal bleibt, wodurch jedes starke Klemmen vermieden wird. Mittelst einer Leine wird die Säge beim Beginn der Arbeit bis zu der erforderlichen Tiefe am abzuschneidenden Pfahle herabgelassen und alsdann durch eine zweite Leine, die am besten an einem der beiden eisernen Arme neben dem Sägeblatte ihre Befestigung findet, gegen den Pfahl angedrückt. Es darf kaum erwähnt werden, dafs die Säge nicht andre Pfähle oder den Boden berühren darf, und überdies ist es gut, die Zähne der Säge stark zu schränken oder sie recht weit aus der Ebene des Blattes heraustreten zu lassen, damit der Schnitt möglichst

weit geöffnet wird, so dafs die Säge sich frei darin bewegen kann. Die Leine, womit die Säge angezogen wird, mufs nicht zu stark gespannt werden, denn es kommt hierbei weniger darauf an, eine solche Arbeit, die sich nur selten wiederholt, möglichst zu beschleunigen, als vielmehr alle Zufälligkeiten zu vermeiden, wodurch der Apparat zerbrochen oder unbrauchbar werden könnte.

Wenn dagegen Rostpfähle in einer vorher bestimmten Tiefe genau und zwar horizontal abgeschnitten werden sollen, so ist hierzu der erwähnte einfache Apparat nicht mehr ausreichend. Man mufs die Säge alsdann in ein Gatter einspannen, das sich horizontal einstellen und in die verlangte Tiefe bringen läfst. Eine feste Rüstung kann man hierbei nicht füglich entbehren, obwohl de Cessart erzählt*), dafs er beim Bau der Kaimauer zu Rouen der Kostenersparung wegen gezwungen worden sei, die Rüstung fortzulassen und die Grundsäge zwischen zwei Schiffen aufzustellen; er fügt aber hinzu, dafs nicht nur die Sägeblätter dabei oft brachen und die Schnitte unregelmäfsig ausfielen, sondern dafs aufserdem auch die Arbeit sehr viel Zeit in Anspruch nahm. Die feste Rüstung war aber gewifs unter den dortigen Verhältnissen, wo in Folge des starken Fluthwechsels der Wasserstand sich fortwährend ändert, dringend geboten.

Wenn die Holme einer Rüstung horizontal verlegt sind, so braucht man auf dieselben nur den Schlitten, der die Säge trägt, hin und her zu schieben, um alle Pfähle ohne weiteres Verstellen der Säge horizontal abzuschneiden. Ist das Gewicht des Schlittens bedeutend, so läfst man ihn auf Rollen oder Rädern laufen, und zuweilen versieht man ihn noch mit einer Querbahn, worauf ein zweiter Schlitten ähnlicher Art steht. Alsdann kann man nach zwei Richtungen die Verschiebung vornehmen und auf diese Art alle Rostpfähle in den verschiedenen Pfahlreihen abschneiden. Es kommen indessen solche complicirte Vorrichtungen nur da vor, wo man in gröfserer Tiefe die Säge gebrauchen will. Am häufigsten geschieht es, dafs man einen Rahmen, der in der angemessenen Tiefe das horizontal gestellte Sägeblatt trägt, mit erhöhten Handhaben versieht und ihn unmittelbar auf der Rüstung hin- und herschieben und zugleich gegen den Pfahl andrücken läfst. Diese

*) *Description des travaux hydrauliques. I. p.* 234.

vielfach benutzte Vorrichtung ist so einfach, daſs sie keiner nähern Beschreibung bedarf, und es wäre kaum darauf aufmerksam zu machen, daſs die beiden abwärts gerichteten Stiele, welche die Säge tragen, durch schräge Bänder gehörig verstrebt sein müssen.

Zu diesen einfacheren Säge-Apparaten gehört auch der Fig. 252 auf Taf. XIX. dargestellte, den der Ingenieur Pochet zusammensetzte und bei verschiedenen Brückenbauten benutzte.*) Der Rahmen, der die Säge trägt, ruht auf 4 eisernen Rädern, die auf Geleisen laufen, aber durch so kurze Achsen mit einander verbunden sind, daſs der erforderliche Seitendruck nicht durch Anrücken der Bahn veranlaſst werden kann, hierzu dient vielmehr eine Leine, deren beide Enden die Säge fassen, und die durch ein mäſsiges Gewicht von 8 bis 10 Pfund nach dem abzuschneidenden Pfahle gezogen wird. *a* und *b* sind die Ansichten von der Seite und von vorn, und *c* zeigt die Säge von oben. Der Bügel, den man hier bemerkt, ist aber nicht unmittelbar an der letzteren, vielmehr etwas weiter aufwärts zwischen den Stielen angebracht, und derselbe tritt so weit zurück, daſs ohne Verstellung des Wagens und der Bahn der Pfahl ganz durchgeschnitten werden kann. Zwei Mann genügten beim Gebrauche dieser Säge, und wenn dieselben sich mit zwei andern von Zeit zu Zeit ablösten, so konnten sie in einem Tage 15 bis 20 Pfähle in der Tiefe von 8 Fuſs unter Wasser abschneiden.

Diese Säge hat auch später bei andern Bauten Anwendung gefunden. So beim Brückenbau über die Loire zu Nantes**), sie wurde daselbst freilich nur für die mäſsige Tiefe von 1 Fuſs unter Niedrigwasser eingerichtet, aber es zeigte sich bald, daſs sie ohne Schwierigkeit auch bei allen Wasserständen des Fluthwechsels benutzt werden konnte.

Bei diesen Apparaten wird nicht nur die Säge, sondern auch die Rüstung, worin sie eingespannt ist, und mit derselben der schwere Schlitten oder Wagen hin- und hergeschoben, wodurch eine gröſsere Betriebskraft bedingt wird, als zu der Bewegung der Säge allein erforderlich wäre. Dabei kommt aber nicht nur die Reibung zwischen den auf einander schleifenden Maschinentheilen in Betracht, sondern auch der Widerstand, den das Wasser auf die

---

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1846. *I. pag.* 328.
**) *Annales des ponts et chaussées.* 1865. *I. pag.* 53.

herabreichenden Stiele ausübt, welche die Säge tragen. Ohne Zweifel läſst sich der Schnitt auch schärfer und ebener ausführen, wenn man die Säge mit ihrer Fassung auf einem festen und sorgfältig bearbeiteten starken Rahmen in der verlangten Tiefe hin- und hergleiten läſst.

Ein Apparat dieser Art wurde bereits im Jahre 1738 von Etheridge zusammengestellt und beim Bau der Westminster-Brücke in London benutzt. Eine Rüstung von Schmiede-Eisen, die im Allgemeinen eine pyramidale Form hatte, wurde zur Seite des abzuschneidenden Pfahles herabgelassen und an denselben befestigt, während sie gleichzeitig im Hebezeuge hängen blieb. Ihre Grundfläche brachte man in diejenige Ebene, wo der Schnitt geschehen sollte. Die Säge war in ein Gatter eingespannt, das sich mittelst vier Leitstangen in einem Rahmen hin- und herschieben lieſs. Das Gatter erhielt die Bewegung durch Leinen, die über Rollen geführt waren und abwechselnd angezogen wurden. Um das Vorrücken der Säge gegen den Pfahl zu bewirken, war auch der ganze Rahmen, der die vier Leitstangen des Gatters umfaſste, beweglich, und zwar lieſs er sich normal gegen die Richtung der Säge verschieben. Dieser Rahmen wurde durch zwei andere Leinen, die von einem angemessenen Gewichte in Spannung erhalten wurden, immer gegen den Pfahl gepreſst und sonach rückte die Säge in demselben Maaſse, wie sie tiefer einschnitt, auch weiter vor. Diese Beschreibung wird von der Anordnung der Maschine im Allgemeinen einen Begriff geben, die Mittheilung der Specialien scheint aber überflüssig, da man seitdem nicht wieder davon Gebrauch gemacht hat, auch die ganze Aufstellung nicht besonders fest sein mochte.*)

Wichtiger ist die Maschine, welche de Cessart bei den Fundirungen in Caissons und zwar zuerst bei der Brücke zu Saumur benutzte.**) Diese Vorrichtung unterscheidet sich von jener sehr vortheilhaft dadurch, daſs der Rahmen, worauf die Säge ruht, mittelst einer Zange, die von oben geschlossen werden kann, den Pfahl umfaſst, und zwar geschieht dieses unterhalb des Sägeschnittes, so daſs die Verbindung nicht gelockert wird, wenn der Pfahl auch

---

*) Beschreibung und Abbildung dieser Maschine findet man in Eytelweins prakt. Anweisung zur Wasserbauk. Heft I.

**) *De Cessart, travaux hydrauliques. I. p.* 71.

schon nahe durchschnitten ist. Die Bewegung wird der Säge mitgetheilt durch ein ziemlich complicirtes Hebel-System. Die obern Enden der beiden Hebel ruhen in Führungen auf einem Wagen, der jedoch nur bewegt wird, um den ganzen darauf ruhenden oder hängenden Apparat an einen neuen Pfahl zu bringen. Endlich kann die Säge zugleich mit dem Rahmen, worin sie sich bewegt, mittelst zweier gezahnten Stangen, in welche Zahnräder eingreifen, auch weiter vorgeschoben werden, um immer frisches Holz zu fassen.

Die specielle Beschreibung und Zeichnung der ganzen Einrichtung, die man seit Einführung der Kreissägen wohl nicht mehr benutzen dürfte, umgehe ich, wenn sie auch im Anfange dieses Jahrhunderts beim Bau des Pont des Arts in Paris nochmals gewählt wurde.*) Man führte jedoch in diesem Falle die Aenderung ein, dafs das Hebel-System etwas vereinfacht wurde, auch die Arbeiter die Zugstangen nicht mehr vor und zurück, sondern wie bei Feuerspritzen auf und ab bewegten.

Mit jener Säge schnitt de Cessart Anfangs nur die Pfähle ungefähr 7 Fufs unter Wasser ab, beim siebenten Pfeiler der Brücke zu Saumur wurde aber die Tiefe, in welcher die Säge wirken sollte, auf mehr als 15 Fufs unter dem Wasserspiegel bestimmt. Die Maschine verrichtete ihren Dienst mit voller Sicherheit und Perronet, der auf die Baustelle zur Inspection gekommen war, untersuchte die Pfahlköpfe und fand sie sämmtlich in der gehörigen Höhe abgeschnitten. De Cessart machte hierbei den Versuch, einzelne Pfähle zuerst 4 bis 5 Linien zu hoch abzuschneiden, darauf aber die Säge richtig einzustellen. Sie schnitt alsdann dünne Scheiben von 2 Linien Stärke ab, welche, ohne zu zerbrechen, sich lösten und an die Oberfläche des Wassers traten. Sie gaben den deutlichsten Beweis von der Genauigkeit, womit die Säge eingestellt und in Wirksamkeit gesetzt werden konnte. Ein Pfahl von 9 bis 10 Zoll Durchmesser wurde etwa in 4 Minuten durchschnitten, man konnte aber auch 18 Zoll starke Pfähle noch damit abschneiden. Das Verstellen nahm jedoch so viel Zeit fort, dafs man an einem Tage nicht mehr als zwanzig Pfähle abschnitt. War die Säge ein-

*) Schulz, Versuch einiger Beiträge zur hydraulischen Architectur. Seite 32.

mal geschärft, so schnitt sie bis 40 Pfähle durch, ohne dafs sich eine Verzögerung der Arbeit in Folge des Stumpfwerdens bemerken liefs. Dieses ist mehr, als bei dem gewöhnlichen Gebrauche der Säge, und es erklärt sich vielleicht dadurch, dafs die Säge im Wasser nicht warm wird.

Beim Bau der Brücke über das Thal Benoit benutzte man eine Säge, die den beschriebenen ähnlich, jedoch etwas einfacher zusammengesetzt war. Ein starker hölzerner Rahmen, der auf 4 Rädern lief, konnte gegen den Pfahl, der durchschnitten werden sollte, geschoben werden. Auf diesem Rahmen lagen 4 mit Zähnen versehene Schraubenmuttern, die von derselben Vaucansonschen Kette umschlungen sich sämmtlich gleichmäfsig bewegten. An jeder von diesen Muttern hing eine starke eiserne Schraubenspindel, und diese waren an ein eisernes Gehäuse befestigt, durch welches die Führungen der Säge hindurchgriffen. Letztere wurde durch einen einfachen Hebel hin und her bewegt, und mit einer horizontalen Schraube wurde der Wagen in dem Maafse, wie der Sägenschnitt sich vertiefte, vorgeschoben.*)

Die Kreissäge, welche in neuerer Zeit vielfach mit grofsem Vortheile angewendet wird, hat man auch verschiedentlich als Grundsäge zu benutzen versucht, und die Resultate sind jedesmal befriedigend ausgefallen, was sich wegen der einfacheren Aufstellung auch erwarten läfst. Der Rahmen, den man sonst braucht, um die Säge hin- und herzuführen, fällt dabei fort, wogegen nur die Befestigung der Achse nöthig wird, um welche die Drehung geschieht. Die Drehung erfolgt gewöhnlich durch eine Kurbel, wie dieses z. B. beim Bau der Brücke zu Bordeaux geschehn ist. Da es hierbei auf grofse Geschwindigkeit der Arbeit nicht anzukommen pflegt, so möchte dieses auch immer genügen. Zuweilen hat man aber, um die Arbeit etwas zu beschleunigen und um die Kurbel bequemer bewegen zu können, letztere an eine horizontale Achse befestigt, die mit einem conischen Rade in ein Getriebe eingreift. Andrerseits hat man auch statt des Rades und Getriebes eine Schnur ohne Ende gewählt, wodurch sich die Anschaffungskosten etwas ermäfsigen. Dieses ist z. B. bei der Säge geschehn, welche

---

*) *Annales des travaux publics.* 1844. *pag.* 336.

beim Bau der Bauacademie in Berlin zum Abschneiden der Rostpfähle in der Tiefe von 2 Fuſs unter Wasser benutzt wurde.

Daſs die Kreissäge jedesmal mit einer Vorrichtung versehn sein muſs, wodurch sie an den abzuschneidenden Pfahl näher herangeschoben werden kann, darf kaum erwähnt werden, und nur wenn es auf keine sorgfältige Arbeit ankommt, kann man sich damit begnügen, wie zuweilen auch wirklich geschehn ist, nur das untere Ende der Achse, woran die Säge befestigt ist, gegen den Pfahl zu drücken. Um das regelmäſsige Vorschieben der Kreissäge zu bewirken, muſs dieselbe an einem Rahmen befestigt sein, der bei unveränderter Lage sich vorwärts bewegt. Bei festen Rüstungen ist dieses nicht schwer zu erreichen, da man hier eine Absteifung des Rahmens in jeder Richtung vornehmen und seine Bewegung durch angebrachte Rollen oder Räder erleichtern kann. Die Achse der Säge muſs ferner diejenige Länge haben, welche der gröſsten Tiefe entspricht, in der man noch den Schnitt ausführen will, und die Säge muſs sich am äuſsersten Ende befinden, damit sie möglichst nahe über dem Grunde wirken kann. Damit die Achse weder bricht, noch auch sich biegt, so muſs die eine der beiden Pfannen, in welchen sie sich dreht, möglichst nahe über der Säge befindlich sein. Die andere Pfanne dagegen erhält ihre passendste Stelle nahe unter dem Rade oder der Kurbel. Auf diese Art bestimmt sich die Höhe des Rahmens, der beide Pfannen trägt, und indem es darauf ankommt, daſs er seine verticale Stellung beibehält, so muſs er hinreichend stark sein, um nicht durchzubiegen. Das Fortschieben des Rahmens auf der festen Rüstung erfolgt entweder durch eine Leine, welche angezogen wird, wie bei der erwähnten in Berlin benutzten Säge geschah, oder besser durch eine Schraube, wie beim Bau der Brücke zu Bordeaux, wodurch man regelmäſsigere und sanftere Bewegungen ertheilen kann. Die letzte Säge konnte 16 bis 18 Fuſs unter Wasser arbeiten. Der Rahmen bestand aus einer festen Verstrebung von Schmiedeeisen, und bei dem groſsen Gewichte desselben durfte man nicht befürchten, daſs er durch die oben angebrachte Schraube schräge gestellt werden möchte.

Als Beispiel der Aufstellung einer Kreissäge wähle ich diejenige Einrichtung, welche man zum Abschneiden der Pfähle an den Uferbauten der Donau benutzt hat. Fig 253 *a* zeigt diese Säge von der Seite. Zur Vermeidung einer besondern Rüstung, und da es

hier wahrscheinlich auf eine grofse Genauigkeit nicht ankam, wurde der aus drei schmalen Bohlenstücken zusammengesetzte und mit eisernen Bändern verbundene Rahmen *A B*, der die Säge trug, unmittelbar an den abzuschneidenden Pfahl befestigt. Oben geschah dieses durch umgeschlungene Ketten, die vielleicht durch zwischengetriebene Keile noch scharf angespannt wurden. Unten diente dagegen hierzu eine Zange, die der von de Cessart angewendeten ähnlich ist, sich aber durch eine veränderte Vorrichtung zum Schliefsen unterscheidet. Die Zange ist, wie Fig. *b* und *c* zeigt, so gebildet, dafs die gekrümmten Arme, welche den Pfahl umfassen, des bessern Schlusses wegen mit Zähnen versehn, und rückwärts fortgesetzt sind, doch durchkreuzen sie sich nicht, sondern derselbe Arm, der vor dem Charniere der linkseitige ist, liegt auch hinter dem Charniere auf der linken Seite. Durch Auseinanderdrängen der hintern Fortsätze werden also die gezahnten Bügel geschlossen und man bewirkt dieses, indem man von oben eine eiserne Stange, die unten in einen passend geformten Keil ausgeht, zwischen die beiden hintern Arme treibt. Will man später die Zange öffnen, was in der Regel erst geschieht, nachdem der Pfahl bereits abgeschnitten ist und man den ganzen Sägeapparat zugleich mit dem abgeschnittenen Theile heraufziehn will, so befördern zwei Federn, welche die vordern Arme der Zange auseinanderdrängen, das Auslösen derselben, sobald der Keil herausgeschlagen wird.

Man hat bei dieser Säge die zweckmäfsige Anordnung getroffen, dafs die untere Pfanne der Achse übereinstimmend mit der obern, dem Pfahle genähert werden kann, um die Säge tiefer einschneiden zu lassen. In jedem der beiden Arme des Rahmens befindet sich nämlich, wie Fig. 253 *b* zeigt, ein Schlitz, durch welchen die Achse hindurchgreift, und in den Schlitzen liegen auf eisernen Bahnen die beiden Pfannen. Letztere sind rückwärts mit entsprechenden gezahnten Stangen versehn und diese werden durch zwei Getriebe gemeinschaftlich bewegt. Sobald die daran befestigte Kurbel in einer oder der andern Richtung gedreht wird, so schieben sich beide Pfannen gleichmäfsig vor oder zurück, und theilen diese Bewegung auch der Säge *G H* mit. *)

Ein Umstand, welcher der Anwendung der Kreissäge häufig

*) Förster's allgemeine Bauzeitung 1836. Seite 129.

sehr hindernd entgegentritt, ist die Schwierigkeit, ein Sägeblatt von der erforderlichen Gröfse zu erhalten, welches hinreichend genau gearbeitet und zugleich steif und fest ist. Will man Pfähle von etwa 1 Fufs Durchmesser durchschneiden, so mufs die Kreissäge schon gegen 4 Fufs grofs sein, da die Scheibe oder die Fassung, worin sie befestigt wird, den Pfahl nicht berühren darf; sie hat oft diesen Durchmesser, was namentlich bei der Säge, die man bei Bordeaux anwendete, der Fall war. Die Säge, die man in Berlin aufstellte, hielt dagegen nur 3 Fufs, war also zu klein, um einen Pfahl mit einem Male durchzuschneiden. Man mufste von einer Seite anfangen und sobald der Rand der Platte das Holz berührte, den ganzen Rahmen um den Pfahl herumschieben und umdrehn und alsdann von der andern Seite die Arbeit fortsetzen, um den Schnitt vollständig auszuführen. Wenn der Gebrauch der Säge in dieser Art erschwert wird, so kann man kaum einen Vortheil von ihrer Anwendung noch erwarten. Geht man indessen von der Ansicht aus, dafs es bei der Grundsäge auf Kraftersparung nicht ankommt, da bei ihrem seltenen Gebrauche es sehr gleichgültig ist, ob vier oder acht Mann die Säge in Bewegung setzen, vielmehr die Hauptbedingung darin besteht, dafs sie genau und unabhängig von allen Zufälligkeiten arbeitet, so darf man sich nicht mehr bemühn, einen recht feinen Schnitt, wie solcher in andern Fällen erforderlich ist, auch hier darzustellen. Man kann die Säge ohne Nachtheil mit grofsen und stark geschränkten Zähnen versehn und dadurch dem Schnitte eine solche Breite geben, dafs selbst eiserne Schienen oder Platten, welche zur Absteifung des Sägeblattes erforderlich sind, sich noch ohne das Holz zu berühren in den Schnitt hineinschieben. In diesem Falle würde eine Kreissäge einen Pfahl noch durchschneiden können, der den dritten Theil und vielleicht nahe die Hälfte ihres eignen Durchmessers zum Durchmesser hätte. Wahrscheinlich könnte man aber auch, wenn man der Säge eine gröfsere Geschwindigkeit gäbe und sie recht behutsam vordringen liefse, das unmittelbare Aufeinanderfolgen der Zähne vermeiden und vielmehr schon durch wenige einzelne Zähne den Schnitt darstellen, in ähnlicher Art, wie man beim Maschinenbau zuweilen einzelne Zähne statt der Fraisen anwendet. Giebt man der Säge in dieser Art nur eine geringe Anzahl von Zähnen, so lassen sich dieselben sehr genau und fest einstellen, so dafs die Arbeit, des breiten Schnittes unerachtet, dennoch mit grofser

Schärfe auszuführen ist. Hierbei wird freilich eine gröfsere Betriebskraft erfordert, besonders wenn eine starke Geschwindigkeit sich in diesem Falle als nothwendig herausstellen sollte, nichts desto weniger wird man es immer als einen Gewinn betrachten müssen, eine Arbeit, die zu den allerschwierigsten und bedenklichsten gezählt werden mufs, mit voller Sicherheit ausführen zu können.

Endlich mufs bemerkt werden, dafs das Princip der Kreissäge auch auf eine andere noch einfachere Art für die Grundsäge sich benutzen läfst. Der Vorzug der Kreissäge vor der gewöhnlichen Säge besteht darin, dafs man die Drehung um eine feste Achse statt des Hin- und Herschiebens auf einer Bahn einführt. Man vermeidet dadurch die schwierige Einrichtung der letztern, so wie auch das Klemmen, Reiben und Schlottern, welches die Bahnen und sonstigen Führungen, namentlich wenn man sie nicht immer untersuchen, noch auch vor Stöfsen und andern Beschädigungen gehörig sichern kann, leicht zu zeigen pflegen. Zur Erreichung dieses Vortheiles ist es aber keineswegs nothwendig, dafs die Drehung ununterbrochen in derselben Richtung erfolgt, vielmehr darf die Säge sich hin- und herbewegen, während sie um die feste Achse schwingt. Man braucht also von der Achse nur zwei Arme ausgehn zu lassen, die etwa einen Winkel von 60 Graden gegen einander bilden und zwischen diese, wie an den Rahmen einer gewöhnlichen Säge, das Blatt zu spannen. Dieses Blatt darf aber an seiner vordern Seite, wo die Zähne sich befinden, nicht durch eine gerade Linie begrenzt werden, vielmehr mufs es hier einen Kreisbogen bilden, der die Drehungsachse zum Mittelpunkte hat. Auf solche Art würde die Schwierigkeit der Beschaffung einer grofsen Kreissäge und zugleich die begränzte Tiefe des Schnittes leicht vermieden werden, und die Bewegung dieser Säge würde sich noch dadurch vereinfachen, dafs die Arbeiter nur die Kurbel hin- und herschieben.

Vorstehende Andeutung einer möglichst einfachen Kreissäge, die zum Abschneiden der Pfähle unter Wasser benutzt werden könnte, hatte ich schon in der ersten Ausgabe dieses Handbuches (1841) mitgetheilt, dieselbe ist später in den Niederlanden bei Gelegenheit der Fundirung des Dampfmaschinen-Gebäudes im Bommelwaard zur Ausführung gebracht, und zwar wurden damit die Pfähle bis 21 Fufs unter Wasser abgeschnitten. Fig. 254 *b* zeigt die dabei gewählte Anordnung. Die Säge umfafst nur einen Halbkreis und

wird durch zwei Arme am obern Ende ihrer Achse hin und her gedreht, während sie von der Rüstung aus durch eine schräge Leine gegen den Pfahl angezogen wird. Die ganze Zusammensetzung des Apparates ergiebt sich aus Fig. 254 *a*, wobei jedoch der Maafsstab nur halb so grofs gewählt, auch wegen mangelnden Raumes die Wassertiefe auf die Hälfte reducirt ist.

Die Grundpfähle waren mittelst Aufsetzern tief unter Wasser herabgetrieben, woher es noch besonderer Vorkehrungen bedurfte, um sie sicher aufzufinden, und die Säge daneben aufzustellen. Zu diesem Zwecke diente ein langer Blechtrichter, mit welchem man von der Rüstung aus den Pfahl aufsuchte, und den man wie die Figur zeigt, über den Kopf desselben streifte. War dieses geschehn, so schob man eine unten zugeschärfte Eisenstange durch den Hals des Trichters, und trieb dieselbe mit starken Hammerschlägen so weit in den Pfahl, dafs sie auch ohne den Trichter aufrecht stehn konnte, worauf letzterer entfernt wurde.

Die halbe Kreissäge schwebte einige Zolle unter einem starken Klotze von Eichenholz, der die untere Pfanne ihrer Achse trug, dieser Klotz hing aber an einem darin verzapften Stiele, der bis über die Rüstung trat und auf dieser in der angemessenen Höhe durch einen hindurchgesteckten Bolzen gehalten wurde. Der Klotz war mit einem starken Bügel versehn, den man beim Herablassen des Apparates über jene Eisenstange und den Pfahl streifte, um die Säge sicher nahe an den Pfahl zu bringen. Bei dieser Aufstellung hatte die Säge aber noch nicht die nöthige Haltung, und sie würde, sobald man sie in Thätigkeit setzte, nicht nur um ihre Achse sich gedreht haben, sondern auch hin und her geschwankt sein. Um dieses zu verhindern, mufste jener Klotz noch gegen den Boden befestigt werden, man versah ihn daher an beiden Seiten mit eisernen Ringen, und durch diese wurden starke, am untern Ende mit langen eisernen Spitzen versehene Stangen gesteckt, die man fest in den Grund einstellte. Diese Stangen mufsten aber, sobald die Säge tiefer einschnitt, weiter vorgerückt, also ausgehoben und wieder eingestellt werden, und da es überaus mühsam und zeitraubend gewesen wäre, jene eisernen Ringe in der grofsen Tiefe aufzufinden, so spannte man an die Spitze jeder Stange eine Kette, die aufserhalb des betreffenden Ringes sich soweit hinzog, dafs die Stange zwar aus dem Boden gezogen und hinreichend hoch gehoben und wieder gesenkt

werden konnte, ihre Spitze aber jedesmal im Ringe bleiben mufste. Die Stangen wurden etwas schräge eingesetzt, so dafs sie beim tieferen Eindringen der Säge steiler gerichtet werden konnten, und sie sonach in Verbindung mit jenem Seile die Säge vorschoben.

Mit diesem, vom Bau-Unternehmer Kool angegebenen Apparate wurden durchschnittlich an jedem Tage 20 und einmal sogar 28 Pfähle abgeschnitten. Dabei waren 9 Mann beschäftigt, von denen 4 die Achse der Säge in Bewegung setzten. *)

Schliefslich wäre noch eine in ihrer Einrichtung sehr einfache und im Gebrauche sehr bequeme Säge zu erwähnen, die jedoch weniger genau arbeitet, als die bisher beschriebenen. Dieses ist die sogenannte Schwungsäge. Ein gewöhnliches Sägeblatt wird dabei nicht horizontal hin und herbewegt, sondern ist in einen möglichst hohen Rahmen gespannt, der sich oben um eine horizontale Achse dreht. Jeder einzelne Zahn beschreibt also einen Kreisbogen, und da die Abstände von der Drehungs-Achse verschieden sind, so treffen die mittleren Zähne den Pfahl in einer gröfseren Höhe, als die äufsern, und der Schnitt wird viel stärker als er bei horizontaler Führung desselben Blattes gewesen wäre. Dazu kommt aber noch, dafs das Blatt auch merklich durchbiegt, und daher keineswegs ganz eben, sondern ziemlich unregelmäfsig den Kopf des Pfahles abschneidet. Wenn ein solcher Uebelstand, wie zuweilen der Fall ist, keine Bedeutung hat, so möchte gerade diese Anordnung sich vorzugsweise empfehlen.

Schon bei den Strom-Correctionen am Rhein benutzte Defontaine solche Sägen, später wurden sie von Beaudemoulin beim Brückenbau in Tours angewendet, und hier vereinfachte man ihre Aufstellung noch dadurch, dafs man einen hölzernen Stiel mit einem eisernen Schuh versah, der in einer starken Holzschraube endigte, die man in den Kopf des abzusägenden Pfahles einschrob. Ein Bolzen, den man in passender Höhe an den Stiel befestigte, bildete alsdann die Achse, um welche der Rahmen mit der Säge hin und her schwang. Mittelst der beiden Zugstangen wurde aber nicht nur diese Bewegung der Säge mitgetheilt, sondern dieselbe auch beständig gegen den Pfahl angedrückt. **)

*) *Verhandelingen van het koninglijk Instituut van Ingenieurs.* 1855—1856. *pag.* 17.

**) *Annales des ponts et chaussées* 1841. *I. pag.* 224.

Indem bei dieser Anordnung der Schnitt in beiden Richtungen gekrümmt ist, so dürfte es sich mehr empfehlen, die Säge an einen Bock zu hängen, der auf der Rüstung steht und der bei weiterem Eingreifen der Säge vorgerückt wird. Solche Aufstellung war bei verschiedenen Fundirungs-Arbeiten an der Yonne und an der obern Seine gewählt worden. *) Dieselbe ist Fig. 255 *a* und *b* in der Seiten-Ansicht und im Grundrifs dargestellt. Der eiserne Rahmen, in den die Säge eingespannt ist, lehnt sich an die Mittelschwelle des Bockes, die in dem Maafse wie der Schnitt sich vertieft vorgeschoben wird. Die Bewegung kann alsdann auch durch Leinen, statt der Zugstangen, der Säge mitgetheilt werden. Dieselbe schnitt durchschnittlich die Pfähle in der Tiefe von 4½ Fufs unter Wasser ab.

§. 41.
Ausziehn der Pfähle.

Häufig trifft es sich, dafs an der Stelle, wo eine Fundirung ausgeführt werden soll, alte Pfähle bereits im Grunde stecken, die man zuerst entfernen mufs, andrerseits sind auch zuweilen Spund- oder Spitzpfähle, die beim Einrammen nicht gehörig eindringen, wieder fortzuschaffen, und endlich werden manche Pfähle und namentlich die Rüstpfähle und die der Fangedämme nur bis zur Beendigung des Baues gebraucht, und müssen später beseitigt werden. Aus diesen verschiedenen Gründen wiederholt sich häufig das Bedürfnifs, die eingerammten Pfähle wieder auszuziehn, und gemeinhin ist dieses nicht nur an sich sehr schwierig und erfordert einen starken aufwärts gerichteten Zug, sondern es tritt noch der Uebelstand dabei ein, dafs die festen Stützpunkte oft schwer zu beschaffen sind. Das gewöhnlichste und einfachste Mittel besteht in der Anwendung eines starken und schweren Hebels, wozu man entweder einen Pfahl oder einen Balken benutzt. Zuweilen hat man indessen auch von andern mechanischen Vorrichtungen zu demselben Zwecke Gebrauch gemacht. Von diesen soll zuerst die Rede sein.

Beim Hafenbau zu Hull stellte man über die Pfähle der Rüstun-

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1861. *II. p.* 66.

gen und Fangedämme, die man ausziehn wollte, einen Bock, woran mehrere Flaschenzüge hingen, deren untere Blöcke an den Pfahl befestigt waren. Die darin eingeschornen Taue wurden durch Erdwinden angezogen, und es war bei manchen Pfählen erforderlich, vier solcher Winden anzubringen, deren jede mit vier Mann besetzt war: der Widerstand eines solchen Pfahles wurde daher auf 15 bis 20 Tons oder 30000 bis 40000 Pfund geschätzt. *) Dabei ist freilich die Reibung unbeachtet geblieben, die namentlich beim Flaschenzuge sehr stark ist; nichts desto weniger kann man aber annehmen, dafs der erforderliche Zug, um einen Pfahl zu heben, sich dem Werthe seiner Tragfähigkeit nähert. Bei weichem und zähem Boden mögen beide nicht sehr verschieden sein.

Statt des dreibeinigen Bockes läfst sich sehr bequem auch die gewöhnliche Ramme benutzen, die sich hierzu um so mehr eignet, wenn sie schon mit einer Winde versehn ist, mittelst deren man das in den Flaschenzug eingeschorne Tau kräftig anziehn kann.

Demnächst hat man die Schraube zu demselben Zwecke benutzt, schon Bélidor schlägt sie vor, und räth die Einrichtung so zu treffen, dafs die um den Pfahl geschlungene Kette an einen Wirbel am untern Ende der Schraubenspindel befestigt wird, während auf einer festen Rüstung die Schraubenmutter lose aufliegt, und durch vier Hebel wie eine Erdwinde gedreht wird. **) Bélidor bemerkt auch, dafs man diese Vorrichtung auf Fahrzeuge stellen und auf solche Art die im Wasser stehenden Rüst- und andere Pfähle entfernen kann. Die starke Reibung der Schraube möchte indessen bei festeingerammten Pfählen kaum diesen Apparat als hinreichend wirksam erscheinen lassen. Nichts desto weniger ist bei den eben erwähnten Hafenbauten in Hull hiervon gleichfalls Gebrauch gemacht worden und zwar bei Gelegenheit einer Spundwand. Die eiserne Schraube hatte dabei eine Stärke von 4 Zoll und übte zuweilen einen Zug aus, den man auf 18 Tons oder 36000 Pfund schätzte. Einige Pfähle liefsen sich jedoch durch dieses Mittel allein nicht heben und es gelang erst, sie in Bewegung zu setzen, nachdem man den Boden, der aus reinem Sande bestand, daneben noch tief ausgebaggert hatte.

---

*) *Transactions of the Institution of Civil Engineers. I. p.* 45.

**) *Architecture hydraulique. Vol. III. p.* 120.

Ferner hat man auch versucht, die Kette oder das Tau, woran der Pfahl befestigt ist, unmittelbar über eine horizontale Winde zu schlingen, welche durch irgend eine mechanische Vorrichtung gedreht wird. Eine solche Maschine beschreibt schon Perronet bei Gelegenheit der Brücke zu Orleans. Eine hölzerne Welle war auf einer einfachen Rüstung über dem Pfahle angebracht und ein Durchsteckarm darin wurde mittelst eines Taues an seinem äufsern Ende mit einer zweiten ähnlichen Welle auf derselben Rüstung verbunden. Letztere wurde durch Hebel, die man in sie einsetzte bewegt. Man könnte glauben, dafs die Kraft sich noch wesentlich verstärken liefse, wenn man in gleicher Weise eine dritte, oder noch mehrere Winden damit verbände, aber ein solcher Apparat, der aus vielen und zwar nicht steifen Theilen besteht, eignet sich nicht zur Darstellung eines kräftigen Zuges. Perronet machte hiervon auch nur Gebrauch, um die Pfähle der Fangedämme zu entfernen, die nicht besonders fest eingerammt waren. Sehr ähnlich dem beschriebenen Apparate ist derjenige, dessen man sich bei den Hafenbauten vor Amsterdam bediente, um die alten im Grunde steckenden Rostpfähle herauszureissen. Auf das vordere Ende eines Fahrzeuges war eine Winde von 3 Fufs Durchmesser aufgestellt, um welche das Tau, das an den Pfahl befestigt wurde, umgeschlungen war. Diese Winde hatte 6 Löcher zum Einsetzen von Hebeln. Ein solcher wurde in das passende Loch gesteckt und von seinem äufsern Ende ging eine Leine über einen Fufsblock nach einer Erdwinde, die auf dem Verdeck des Fahrzeuges stand, und durch vier Mann in Bewegung gesetzt wurde.*) Es ist wohl nicht anzunehmen, dafs die Pfähle, die man hiermit entfernte, grofsen Widerstand leisteten, wie überhaupt in Holland die Pfähle nie besonders fest eingerammt werden.

Endlich hat man zuweilen die hydraulische Presse zum Ausziehn der Pfähle benutzt. Dieses geschah z. B. beim Bau der Waterloo-Brücke. Man stellte die Presse oder den Cylinder, worin der gröfsere Kolben befindlich ist, auf den noch feststehenden Theil der Spundwand, und dieser Kolben hob das Ende eines starken Balkens, dessen anderes Ende auf einer Rüstung ruhte. Da letzteres nur im umgekehrten Verhältnifs der Längen der betreffenden Hebel-

*) Henz, der Hafen von Amsterdam, in den Verhandlungen des Gewerbevereins in Preufsen. 1832. S. 179.

arme abwärts drückte, so wurde jene Rüstung nur mäfsig belastet und durfte daher auch weniger fest sein.

Die einfachste Vorrichtung zum Ausziehn der Pfähle besteht, wie bereits erwähnt worden, in der Anwendung des Hebels oder des Wuchtbaumes. Mittelst desselben läfst sich ein sehr kräftiger Zug ausüben und er ist daher bei gehöriger Einrichtung und Benutzung für Pfähle, die besonders fest eingerammt sind, vorzugsweise geeignet. Bei den Bohlwerksbauten in Pillau und namentlich bei dem des sogenannten hohen Bohlwerkes, das die Stadt gegen die See schützt, war das Ausziehn der alten Pfähle, wenn man neue einrammen wollte, nothwendig, indem der Grund stellenweise so besetzt war, dafs man neben einen alten Pfahl den neuen nicht hineinbringen konnte. Diese Pfähle mufsten aber jederzeit sehr tief eingerammt werden, indem zuweilen bedeutende Auskolkungen eintraten, welche den Einsturz des ganzen Bohlwerkes zur Folge haben konnten, wenn die Pfähle nicht ihren festen Stand noch behalten hätten. Diese Pfähle hatten eine Länge von 50 bis 60 Fufs und steckten gemeinhin über 30 Fufs tief im Grunde. Das Ausziehn derselben war mit sehr grofsen Schwierigkeiten verbunden, und da das früher hier übliche Verfahren auch sonst vielfach im Gebrauche ist, so will ich mit der Beschreibung desselben den Anfang machen.

Ein starker Pfahl wird an seinem Stammende etwa auf 6 Fufs Länge an einer Seite behauen und eine eichene Bohle darauf genagelt. Durch letztere wird das Rollen des Pfahles verhindert und derselbe zugleich vor Beschädigungen gesichert, denen er beim Drehn um Brechstangen oder um die scharfen Kanten der Balken ausgesetzt sein würde. Den Drehepunkt sucht man möglichst nahe an den auszuziehenden Pfahl zu verlegen und bildet ihn durch einen Balken, der auf andern eingerammten Pfählen ruht. Häufig mufs man sich aber damit begnügen, den Balken nur durch Absteifung und Unterfütterung möglichst zu sichern. Die Arbeit ist um so schwieriger, je loser die Unterlage ist, und bei grofser Elasticität derselben wird es beinahe unmöglich, den Pfahl noch auszuziehn. Um den hintern oder längern Hebelsarm, also das Wipfelende des Pfahles, zu heben, wird ein dreibeiniger Bock darübergestellt, woran ein Flaschenzug befestigt ist. Wenn hierdurch der kürzere Hebelsarm möglichst tief gesenkt ist, so verbindet man denselben mit dem

Kopfe des auszuziehenden Pfahles. Man muſs sich, wenn die Pfähle nicht ganz lose im Grunde stecken, hierzu einer starken Kette bedienen, denn ein Tau leidet dabei theils zu viel, theils aber ist seine Elasticität auch der ganzen Operation hinderlich und jedenfalls müſste es sehr stark sein, wenn man es mit einiger Sicherheit anwenden wollte. Beim Anstecken der Kette kommt es darauf an, dieselbe sogleich möglichst stark anzuspannen, denn wenn man dieses versäumt, so fängt der Hebel an sich zu senken und erreicht vielleicht den Erdboden, ohne auf das Heben des Pfahles gewirkt zu haben, indem er nur die Kette stärker anspannte. Die Kette wird meist nur durch mehrmaliges Umschlingen an den Wuchtbaum befestigt. An ihrem andern Ende befindet sich dagegen ein Ring, durch den man sie hindurchzieht, und auf diese Art eine Schlinge bildet. Letztere streift man auf den Kopf des Pfahles, stöſst sie recht fest mit Brechstangen nieder, und um ein Wiederaufziehn zu verhindern, werden noch Bolzen davor geschlagen. Ist Alles auf solche Art vorbereitet, so läſst man den Wuchtbaum herabsinken. Hierbei zeigen sich fast jedesmal mancherlei Uebelstände: zunächst setzt sich gewöhnlich der Wuchtbaum, der Anfangs sehr schräge hängt, in eine gleitende Bewegung und rückt dem Pfahle näher. Dadurch verlängert sich der kürzere Hebelsarm und der Zug vermindert sich häufig um die Hälfte. Diese Bewegung hat zugleich die üble Folge, daſs der Balken, um welchen der Wuchtbaum sich drehn soll, verschoben und nicht selten herabgeworfen wird. Beides ist für die in der Nähe stehenden Arbeiter gefährlich. Der Wuchtbaum pflegt ferner und besonders bei der ersten Hebung sich nicht lange schwebend zu erhalten, denn die Kette, die sich überall an das Holz scharf anlegt, auch wohl sich darin eindrückt, giebt so viel nach, daſs der kürzere Arm sich heben und der längere bis zum Boden herabfallen kann. Der erste Versuch wirkt also gewöhnlich auf den eigentlichen Zweck gar nicht hin und hat nur den Erfolg, daſs die Kette sich in den Wuchtbaum und in den Pfahl tiefer eindrückt. Man wiederholt alsdann dieselbe Operation: der Wuchtbaum wird zuerst zurückgeschoben, sodann gehoben und sobald dieses geschehn, sucht man die Kette wieder zu spannen. Das letzte erscheint am leichtesten, wenn man die Vorsteckbolzen aus dem Pfahle herausschlägt und mit Brechstangen die Kette von Neuem recht tief herabstöſst und sie wieder durch die Bolzen mög-

lichst sichert. Das Resultat dieses zweiten Versuches ist gewöhnlich noch ganz dasselbe, wie das erste Mal. Die Kette faſst nämlich in dem Pfahle frisches Holz, welches sie wieder stark comprimirt, und so wiederholt sich nicht selten derselbe Erfolg zehnmal und wohl noch öfter, bis es endlich gelingt, einen solchen Widerstand zu erreichen, daſs die Kette nicht mehr nachgeben kann und der ganze Zug, den der Wuchtbaum auszuüben im Stande ist, wirklich auf das Heben des Pfahles verwendet wird.

Wenn der Wuchtbaum auf solche Art endlich in Wirksamkeit tritt, so zeigt sich oft, daſs der Zug nicht genügt, um den Pfahl herauszureiſsen. Alsdann steigen einige Arbeiter auf den Wuchtbaum, andere werfen Taue herum und ziehn ihn herab, meist bleibt es auch nicht bei diesem gleichförmigen Zuge, sondern unter lautem Gesange bemühn sich beide Theile der Mannschaft, den Wuchtbaum in heftiges Schwanken zu versetzen und seinen Effect dadurch zu verstärken. Sind die Arbeiter Seeleute, wie dieses in Pillau gemeinhin der Fall war, so ist die Gefahr hierbei, selbst wenn zufällig etwas brechen sollte, nicht bedeutend. Ich habe mehrmals hierbei die Kette reiſsen oder die ganze Rüstung zusammenstürzen sehn, ohne daſs auch nur ein einziger Arbeiter beschädigt wäre. Man muſs aber jede Veranlassung vermeiden, daſs die Leute, wenn auch aus eigenem Antriebe, sich auf der Baustelle einer Gefahr aussetzen, und eine solche ist hierbei nicht in Abrede zu stellen.

Schon aus diesem Grunde muſste der Apparat abgeändert werden, dazu kam aber noch, daſs der gröſste Theil der dabei verwendeten Kraft unbenutzt verloren ging, und endlich genügte die Vorrichtung auch nicht, um diejenigen Pfähle herauszubringen, welche besonders fest im Grunde steckten. Man muſste jedesmal mehrere derselben stehen lassen, weil alle Versuche, sie zu heben, miſsglückten. Es waren hierbei gemeinhin achtzehn Mann angestellt, vierzehn derselben zogen den Wuchtbaum auf, indem die Leine vom Flaschenzuge durch einen Block am Fuſse des Bockes gezogen war, zwei Arbeiter standen auf dem vor dem Pfahle schwimmenden Flosse und schlugen die Ketten herab und befestigten die Vorsteckbolzen, und endlich sorgten zwei Mann, worunter ein Zimmergeselle war, für die gehörige Lage des Wuchtbaumes. Diese starke Mannschaft konnte durchschnittlich von den Pfählen am

hohen Bohlwerke täglich nur 2½ Stück herausziehn, woher diese Arbeit sehr kostbar war. Das Arbeitslohn mit Einschlufs der Kosten für Tauwerk u. dergl. betrug etwa zwei Drittel von dem für das Einrammen der Pfähle.

Die Aenderungen, die ich hierbei einführte, sind in Fig. 225 auf Taf. XVII. dargestellt. Zunächst ist der Wuchtstuhl oder die Unterlage zu erwähnen, auf welche die Drehungsachse für den Wuchtbaum befestigt wurde. Dieser Stuhl ist in der erwähnten Figur durch die Schraffirung markirt und Fig. 226 zeigt ihn in der Ansicht von oben. Er besteht aus einem durch Schraubenbolzen verbundenen Rahmen aus Eichenholz, der sich theils leichter und sicherer unterstützen läfst, als ein einzelner Balken, der aber theils auch mit Sicherheit die eiserne Achse trägt, um welche die Drehung des Wuchtbaumes erfolgt.

Der Wuchtbaum selbst bestand aus einem dreizehnzölligen Balken von Kiefernholz, dessen Länge 35 Fufs betrug, und der mit doppelten Pfannen versehen war, damit die Drehungsachse verändert werden konnte. Diese Pfannen wurden gebildet durch eiserne Schienen, die unten gabelförmig gespalten waren, und die Achse umfafsten. Sie waren durch je zwei Schraubenbolzen mit dem Wuchtbaume verbunden. Ihre Entfernung vom Ende des Wuchtbaumes betrug 1 und 2 Fufs. Die Drehungsachse wurde in die vorderen Pfannen gelegt, wenn der Pfahl noch fest im Grunde steckte, in diesem Falle übte der Wuchtbaum an sich schon einen Zug von 28500 Pfund aus, hing man aber an sein hinteres Ende einen Rammklotz von 7¼ Centner, so verdoppelte sich der Zug und konnte durch noch gröfsere Gewichte sogar verdreifacht werden. Sobald aber der Pfahl sich etwa um einen Fufs gehoben hatte, so verminderte sich schon merklich der Widerstand, wie man am schnellen Sinken des Wuchtbaumes wahrnehmen konnte. Alsdann wurde der letztere so weit vorgeschoben, dafs die Achse nunmehr in die zweite Pfanne traf und daher bei jedem Zuge der Pfahl noch einmal so hoch stieg, wie früher.

Das Heben des Wuchtbaumes erfolgte mittelst einer Erdwinde. Das darum geschlungene Tau lief über einen Fufsblock und über eine eiserne Scheibe, die am dreibeinigen Bocke hing, nach dem hintern Ende des Wuchtbaumes. Drei Mann konnten bei dieser Anordnung den letzteren heben, und wenn sie mittelst

eines Hemmtaues die Erdwinde festgestellt hatten, so zogen sie auch die an einen Flaschenzug befestigte grofse Kette weiter auf den Wuchtbaum. Bei Aufstellung des Bockes, womit der Wuchtbaum gehoben wird, mufs man darauf aufmerksam sein, dafs die verlängerte Richtung des Taues, woran der Wuchtbaum hängt, bei allen Stellungen des letztern innerhalb der Verbindungslinien zwischen den drei Füfsen des Bockes bleibt. Im entgegengesetzten Falle würde der Bock in Bewegung kommen, oder wohl gar umstürzen, ferner mufs derjenige Fufs des Bockes, woran der Fufsblock befestigt ist, in die Erde etwas versenkt werden, weil er sonst beim starken Zuge der Erdwinde fortgerissen würde. Bei jedem einzelnen Pfahle, den man mit diesem Apparate auszieht, mufs der Wuchtstuhl, sowie auch der Bock verstellt werden, dagegen kann man die Erdwinde häufig längere Zeit hindurch unverändert stehn lassen und sich mit dem Bocke so weit davon entfernen, als die Länge des Taues dieses zuläfst.

Der wichtigste Punkt in der Zusammenstellung des ganzen Apparates ist die Befestigung der Kette, und zwar ebensowohl am Pfahle als am Wuchtbaume. Jedenfalls mufs dafür gesorgt werden, dafs die Kette nicht immer nachgiebt und dadurch den Effect des einzelnen Zuges schwächt und oft ganz vernichtet. Hiernach durfte die Befestigung am Pfahlkopfe nicht jedesmal auf eine andere Stelle übertragen werden, vielmehr blieb die Kette hier, so lange wie möglich ganz unverändert, so dafs sie nur an einer einzigen Stelle das Holz comprimirte. Wie stark diese Compression war, gab sich daran zu erkennen, dafs beim ersten Herabsinken des Wuchtbaumes, wobei nur die Kette angespannt wurde, gewöhnlich aus dem anscheinend ganz trockenen Pfahlkopfe eine grofse Menge Wasser ausgedrückt wurde. Die Kette war am untern Ende mit einem Ringe versehn, durch welchen wieder eine Schlinge gebildet wurde. Diese liefs man über den Kopf des Pfahles gleiten, stiefs sie, nachdem der Wuchtbaum gehoben war, fest herab und schlug zwei Spitzbolzen zu ihrer Haltung in den Pfahl hinein. Der eine Bolzen mufste verhindern, dafs die Kette nicht etwa längs dem Pfahle herauf gezogen werden konnte, und der andere hielt die Schlinge gespannt, sobald der Wuchtbaum wieder gehoben wurde, da sie ohne weitere Befestigung, vermöge ihres grofsen Gewichtes sich von selbst gelöst hätte. Um eine einfachere Befestigung der

Kette gegen den Pfahl darzustellen, versuchte ich einen Ring, wie solcher auch sonst angewendet ist, ich gab ihm die Form, die Fig. 227 zeigt. Der Ring ist nämlich oben und unten mit einem starken Dorne versehn, der in den Pfahl hineindringt. Er ist alsdann leicht zu befestigen und auch leicht wieder loszuschlagen, doch muſs seine Gröſse der Stärke des Pfahles entsprechen. In schwächere Pfähle und besonders wenn sie durch den Einfluſs des Wassers und der Luft schon sehr mürbe geworden waren, drückte er sich aber so tief ein, daſs er eine Stellung einnahm, die sich der senkrechten näherte und in diesem Falle war er nicht mehr zu halten, er glitt sogleich herauf und brach häufig den Kopf des Pfahles ab. Es war daher zweckmäſsiger, die Kette unmittelbar umzulegen. In andern Fällen, wo die Pfähle von gleicher Stärke sind, man also dem Ringe die passende Gröſse geben kann, dürfte seine Anwendung vortheilhaft sein.

Das gehörige Nachziehn und Anspannen der Kette, welches nach jedem einzelnen Zuge erfolgen muſs, konnte nur auf dem Wuchtbaum geschehn, und ich wählte dazu eine Einrichtung, welche derjenigen Kette entsprach, die ich dort vorfand. Die Schaken derselben waren aber für diesen Zweck etwas zu enge, woher die Durchsteckbolzen nicht die nöthige Stärke erhalten konnten, die der Zug forderte. Im Uebrigen war die Kette sehr regelmäſsig gearbeitet, 24 Fuſs lang und hatte elliptische Glieder ohne Steg. Jedes derselben war im äussern Umfange 6 Zoll lang und $4\frac{1}{8}$ Zoll breit, die Stärke des cylindrischen Eisenstabes, aus dem sie geformt war, betrug $1\frac{1}{8}$ Zoll. Die Länge der elliptischen Oeffnung im einzelnen Gliede maaſs $3\frac{3}{4}$ Zoll und indem die beiden nächsten Glieder hindurchgriffen, so bildete sich in jedem einzelnen, sobald die Kette angespannt wurde, ein freier Raum von $1\frac{1}{8}$ Zoll Länge, doch konnte man diesen nicht ganz für den Durchsteckbolzen benutzen, da wenigstens $\frac{1}{8}$ Zoll Spielraum gelassen werden muſste. Hiernach bestimmte sich die Stärke des Durchsteckbolzens, der die Kette halten sollte, auf $1\frac{3}{8}$ Zoll, was nur nothdürftig genügte, indem der Bolzen sich häufig verbog und alsdann durch einen andern ersetzt werden muſste. Die freien Oeffnungen in der Kette waren $4\frac{7}{8}$ Zoll von einander entfernt; wenn man also für den Durchsteckbolzen nur eine einzige Oeffnung dargestellt hätte, so würde man zuweilen gezwungen gewesen sein, die Kette, nachdem sie eingespannt worden,

noch nahe $4\frac{7}{8}$ Zoll zurückzuziehn, ehe sie auf den Pfahl wirken konnte. Dieser Spielraum war jedenfalls zu grofs, er konnte aber vermindert werden, sobald mehrere Befestigungsstellen für den Durchsteckbolzen vorgerichtet wurden, von denen eine oder die andere pafste. Ich wählte deren drei, welche, wie Figur 228 zeigt, $2\frac{1}{8}$ Zoll von einander entfernt waren. Es ist also ein ähnliches Princip, wie bei den Nonien, in Anwendung gebracht, die doppelte Entfernung der Oeffnungen in der Kette ist in drei Theile getheilt, und da von den vier Theilungspunkten die beiden äufsern eine gleiche Stellung gegen die Theilung der Kette haben, so durfte einer derselben fortfallen. Auf diese Art war es möglich, die Kette von $2\frac{3}{8}$ zu $2\frac{1}{8}$ Zoll zu verkürzen, und dieser Spielraum war die gröfste Länge, um welche die Kette sich beim Senken des Hebels verlängert haben würde. Fig. 228 *a* und *b* zeigt die ganze Anordnung: zwei hochkantige Schienen von $\frac{7}{8}$ Zoll Stärke sind mittelst drei Bolzen an den Wuchtbaum befestigt, und stehn so weit von einander ab, dafs die Kette noch eben frei durchzogen werden kann. In ihnen sind die erwähnten drei Oeffnungen für den Durchsteckbolzen angebracht.

Damit die Kette nicht etwa vom Wuchtbaume herabgleitet, sich auch in den kürzeren Hebelsarm nicht stark eindrückt, ist, wie dieselben Figuren zeigen, am Kopfe des Wuchtbaumes ein Einschnitt gemacht, der eine cylindrisch geformte vertiefte Rille bildet, die mit einem starken Eisenblech ausgefüttert ist. Man erlangt dadurch auch den Vortheil, dafs die Kette leichter aufgezogen werden kann. Ihr Gewicht ist indessen so grofs, dafs sie aus freier Hand durch einen oder wenige Arbeiter nicht zu bewegen ist. Aus diesem Grunde ist, wie Fig. 225 zeigt, noch ein Flaschenzug angebracht, womit man sie, sobald der Wuchtbaum gehoben ist, heraufzieht. Dieses geschieht durch dieselben Arbeiter, welche die Erdwinde in Bewegung setzen. Nachdem die Kette steif gezogen ist, sucht der Zimmermann, der auf dem Wuchtstuhle steht und die ganze Arbeit leitet, die passende Oeffnung für den Durchsteckbolzen aus. Ist letzterer eingebracht, so kann die Leine am Flaschenzuge wieder aus der Hand gelegt werden, doch mufs man ihr Ende festschlingen, damit der obere Theil der Kette nicht vom Wuchtbaume herabstürzt.

Obgleich die Kette auf solche Art sicher befestigt ist, so hat

sie noch nicht die erforderliche Spannung und es kann leicht geschehn, dafs der Pfahl gegen 3 Zoll weniger hoch gehoben wird, als wenn die Kette sogleich scharf angezogen wäre. Um diesen Kraftverlust zu vermeiden, liefs ich am Kopfe des Wuchtbaumes unter die Kette noch eichene Keile von beiden Seiten aus einschlagen, die Fig. 225 sichtbar sind. Dieselben hoben den Spielraum vollständig auf und zum Beweise, dafs sie fest eingetrieben waren, diente ein Schlag mit dem Hammer gegen die senkrecht herabhängende Kette, die nicht klirren durfte, sondern einen so hellen Klang geben mufste, als wenn sie ein fester Stab wäre. Sobald der Kette diese Spannung ertheilt war, so übte der Wuchtbaum sogleich den vollen Zug auf den Pfahl aus.

Der Widerstand, welchen die Pfähle leisteten, war gewöhnlich so grofs, dafs sie beim ersten Anziehn des Wuchtbaumes nur sehr langsam sich hoben, und häufig schien es, als ob sie trotz des kräftigen Zuges, der noch durch die Beschwerung des Wuchtbaumes vermehrt wurde, gar nicht zu bewegen wären. In solchen Fällen versuchte ich es, sie in starke Erschütterung zu versetzen, doch konnte ich von diesem Mittel niemals einigen Erfolg bemerken. Auch andere Erschütterungen zeigten keine Wirkung. Es bedarf kaum der Erwähnung, dafs das Schlagen mit einer Axt gegen den Pfahl, wie zuweilen empfohlen wird, ganz zwecklos ist, aber selbst der Stofs eines dreifsigfüfsigen Balken, den ich an zwei Tauen horizontal aufhing, und wie einen Mauerbrecher schwingen und gegen den Pfahl stofsen liefs, zeigte sich ganz erfolglos. Ebenso zwecklos waren jederzeit die Schläge, die ich mit der Ramme auf den Kopf des Pfahles führen liefs, während der Wuchtbaum ihn dauernd aufwärts zog. Dieses letzte Mittel ist mehrfach und angeblich mit grofsem Vortheil angewendet, ich habe aber dadurch niemals auch nur die geringste Wirkung erreicht. Vielleicht ist es bei andern Bodenarten vortheilhafter. Perronet zog bei der Brücke zu Neuilly die Pfähle der Rüstungen und Fangedämme aus, indem er an beiden Seiten des Pfahles einscheibige Blöcke befestigte, worüber Taue geschoren waren, die nachdem sie über feste Scheiben an der Ramme gelaufen, durch Winden angezogen wurden. Während die letzteren wirkten, liefs man den Rammklotz auf den Pfahl fallen, wodurch derselbe sich aus dem Boden gelöst haben soll. Die ganze Anordnung zeigt aber wohl, dafs hierbei kein

sonderlicher Widerstand zu überwinden war. Bei den Hafenarbeiten zu Sables d'Olonne benutzte Lamandé nach demselben Prinzip eine Maschine, welche aus zwei einander entgegengekehrten Wuchtbäumen bestand, die beide auf das Herausziehn des Pfahles wirkten, während zwischen ihnen die Ramme befindlich war, deren Schläge den Kopf des Pfahles trafen.*)

Gauthey erklärt die Wirksamkeit des Schlages auf das Ausziehn der Pfähle dadurch, dafs die eisernen Pfahlschuhe oxydiren, was besonders bei der Berührung mit Seewasser bald erfolgt, und sie alsdann die Sand- und Kiestheilchen in der Umgebung mit sich verbinden, woher die Pfähle in diesem Falle auch zuweilen grofse Sandklumpen heraufbringen sollen. Diese Erscheinung findet allerdings statt, doch waren die Stücke Conglomerat, die ich mit den Pfahlschuhen heraufkommen sah, immer nur einige Cubikzolle grofs und konnten keinen merklichen Widerstand verursachen. Wenn das Rammen nur dazu dienen soll, solche erhärtete Massen zu zerbrechen oder zu lösen, so wird es bei feststehenden Pfählen auch wenig Erfolg haben. Ich habe immer gefunden, dafs der dauernde Zug viel wirksamer ist, als alle Erschütterungen, die man anbringen mochte. Wenn der Pfahl vom Wuchtbaume nicht gleich gehoben wurde und selbst die am langen Hebelsarme aufgehifsten Gewichte nichts fruchteten, so brach ich, wenn es möglich war, die Arbeit sogleich ab und beschäftigte die Leute anderweitig, während der Wuchtbaum dauernd den kräftigen Zug ausübte. Wenn dagegen eine solche Unterbrechung nicht füglich eintreten konnte, so liefs ich den Wuchtbaum an andere Pfähle schieben, und bevor die Arbeit am Abende aufhörte, wurde noch der Zug gegen den ersten Pfahl dargestellt. Der Erfolg war jedesmal der, dafs der Wuchtbaum am nächsten Morgen sich bis zum Boden gesenkt und den Pfahl etwas gehoben hatte, und diese Bewegung war niemals plötzlich eingetreten, sondern ganz unmerklich. Schon bei Gelegenheit des Rammens ist erwähnt worden, dafs in jedem Boden, der einigermaafsen die Eigenschaften eines dickkflüssigen Körpers hat, der dauernde todte Druck weit wirksamer ist, als der Stofs. Am wenigsten sollte man dieses noch beim Sande erwarten, da ich es aber auch hier bestätigt gefunden habe, so möchte ich den Nutzen der

*) Gauthey, *Traité de la construction des Ponts. II. p.* 270.

Erschütterungen überhaupt bezweifeln. Man wählt dieses Mittel, um nicht müſsig dem langsamen Erfolge entgegensehn zu dürfen, und wenn vielleicht ganz unabhängig von dieser Beihülfe die Bewegung endlich eintritt, so ist man geneigt zu glauben, daſs sie hierdurch veranlaſst wurde.

Wenn der Pfahl sich etwas gehoben hat und der Wuchtbaum bei jedem Zuge schneller herabsinkt, so verstellt man den Wuchtbaum, so daſs die Drehungsachse in die hintern Pfannen kommt, oder daſs der kürzere Hebelsarm sich auf 2 Fuſs verlängert. Alsdann steigt der Pfahl jedesmal höher auf, und wenn endlich auch nunmehr wieder der Wuchtbaum mit groſser Geschwindigkeit niedersinkt, so wird die schwere Kette ganz fortgenommen und eine leichtere Kette am Pfahle und am untern Blocke des Flaschenzuges, der auf dem Wuchtbaume liegt, befestigt und die Arbeiter ziehn den Pfahl vollends aus dem Grunde.

Es waren bei diesem Wuchtbaume im Ganzen sechs Mann mit Einschluſs eines Zimmergesellen angestellt, nämlich drei Mann an der Erdwinde, ein Arbeiter stand auf dem Flosse und hatte dafür zu sorgen, daſs die Kette sich nicht vom Pfahle löste, und der fünfte nebst dem Zimmermanne standen auf dem Wuchtstuhle um die Keile einzutreiben, zu lösen, die Vorsteckbolzen zu versetzen und dergleichen. Der Arbeiter auf dem Flosse konnte, sobald die Schlinge der Kette sich recht fest gezogen hatte, noch zur Hülfe der drei Arbeiter an die Winde gehn. Auf diese Art wurden von den schwersten Pfählen täglich durchschnittlich 4 Stück gehoben. Die Aenderung des Apparates hatte also die Folge, daſs nicht nur die Anzahl der dabei beschäftigten Arbeiter auf den dritten Theil vermindert, sondern auch die Arbeit beschleunigt wurde. An den Bohlwerken der beiden Hafen-Bassins hatte man bei früheren Reparaturen und Neubauten die alten Pfähle immer im Grunde stecken lassen, weil das Ausziehn derselben zu mühsam war. Mit diesem veränderten Wuchtbaume boten jedoch die Pfähle, die hier nur 36 Fuſs lang waren, so wenig Widerstand, daſs sie beim ersten Einstellen sogleich willig folgten, wenn daher wegen ungünstiger Witterung eine andere Arbeit unterbrochen wurde, oder sonst auf einige Zeit ein Theil der Tagelöhner nicht gehörig beschäftigt werden konnte, so stellte ich sie an den Wuchtbaum, und lieſs sie diese alten Pfähle ausziehn. Sie hoben an einem Tage 8 bis 12 Stück

derselben und es wurde dadurch nicht nur der Hafen gereinigt, sondern noch eine Menge Holz gewonnen, welches zwar weicher als das frische Holz war, aber dennoch zu Rüstungen und vielen andern Zwecken mit Vortheil verbraucht werden konnte.

Vorstehend ist der Erdwinde gedacht worden, und da dieselbe eine sehr kräftige, leicht darzustellende und leicht zu transportirende Maschine ist, welche auf den Baustellen vielfach angewendet werden kann, so darf ihre Beschreibung hier nicht fehlen. Fig. 229 *a* und *b* zeigt sie in der Ansicht von der Seite und im Grundrifs. In dem Grundrifs ist die Spindel oder die senkrechte Welle herausgenommen gedacht, die in Fig. 229 *a* gezeichnet ist. Die Zusammensetzung des Rahmens zeigen die Figuren, man läfst zuweilen die beiden Schwellen auf der dem Zuge entgegengesetzten Seite sich in eine Spitze vereinigen und überblattet sie hier, wodurch der Rahmen noch etwas mehr Festigkeit erhält. Der Zug, der durch die Richtung des Taues bestimmt wird, entfernt sich zuweilen bis 2 Fufs oder auch wohl noch mehr von dem Boden, und es entsteht alsdann die Gefahr, dafs die beiden Stiele herausgerissen und um das untere Ende der Streben gedreht werden möchten, es ist deshalb vortheilhaft, gekröpfte eiserne Schienen gegen die Stiele zu nageln und um die Schwellen zu legen, oder diese Schienen unten in Bolzen ausgehn zu lassen, welche durch die Schwelle hindurchgreifen und hier mit Schraubenmuttern gehalten oder verniethet werden. Die Befestigung geschieht sonst in allen Theilen nur mit starken Nägeln, und wo eine Bohle gegen die andere genagelt ist, wird die Spitze des Nagels abgekniffen, eine Niethscheibe aufgesetzt und darin der Nagel breit geschlagen. Verbindungen dieser Art sind beim Schiffsbau ganz gewöhnlich, und wie die Erfahrung lehrt, sehr fest und dauerhaft. Die Spindel steht mit dem untern Zapfen in einem runden Loche auf dem mittlern untern Riegel, und mit dem Halse liegt sie in einem passenden Einschnitte des obern Riegels. Eisenbeschläge kommen hier nicht vor, es befindet sich nur ein eiserner Ring über dem viereckigen Kopfe der Spindel, um das Aufspalten desselben zu verhindern. Der Zug des Taues drückt immer die Spindel mit ihrem obern Halse in den Einschnitt des Riegels, es ist daher ein Herausfallen derselben beim Gebrauche der Winde undenkbar, aber auch wenn die Winde nicht gebraucht wird, steht die Spindel mit ihrem Fufse auf dem untern Riegel sicher auf. Aus diesem Grunde

ist ein Bügel oder Ueberwurf am Halse entbehrlich. Die eigenthümlich ausgeschmiegte Form im untern Theile der Spindel wird durch die Benutzungsart der Winde bedingt.

Will man die Winde anwenden, um etwa einen sehr schweren Körper zu ziehn, oder ihn auf einer flach geneigten Ebene zu heben, so kommt es zunächst darauf an, die Winde so fest zu stellen, dafs sie nicht etwa selbst fortgezogen wird. Das gewöhnliche Mittel hierzu ist, dafs man kleine Pfählchen vor die Riegel der Winde in den Boden einschlägt, wie die Figur vier derselben zeigt. Zuweilen genügt dieses aber nicht, und man mufs alsdann durch eine Kette, die um den hintersten Riegel geschlungen ist, die Winde an einen andern Gegenstand befestigen, z. B. an einen Baum oder einen starken Pfahl, auch wohl an einen eingegrabenen schweren Schiffsanker u. dergl. Ist in dieser Art das Gestell in der gehörigen Richtung sicher befestigt, so setzt man die Spindel ein, versieht sie mit den Durchsteckarmen und schlingt das Tau, welches angezogen werden soll, um den dünnsten Theil der Spindel herum. Man macht gewöhnlich drei Windungen, doch zuweilen auch nur zwei: wenn aber der Zug sehr stark ist, deren vier. Diese Windungen müssen so gerichtet sein, wie Fig. 229 *a* angiebt, nämlich so, dafs beim Anziehn des Taues dasselbe sich immer höher auf die Spindel herauflegt. Das lose umgeschlungene Tau würde beim Drehn der Winde gar nicht fortgezogen werden, wenn nicht an dem hintern freien Ende desselben einige Spannung stattfände. Um diese darzustellen, sitzt ein Arbeiter auf dem hintern Riegel der Winde, das Gesicht nach der Spindel gekehrt, die Durchsteckarme gehen über seinem Kopfe fort, so dafs er deren Bewegung nicht hindert. Indem die Reibung eines Taues, welches um eine Welle geschlungen ist, sich mit der Vermehrung der Windungen aufserordentlich vergröfsert, so ist ein Gegendruck von einem Pfunde schon hinreichend, die Reibung so zu verstärken, dafs sie bei drei Windungen einen Widerstand von mehr als 5 Centnern ausübt und bei vier Windungen schon von mehr als 40 Centnern. Auf solche Art kann ein Arbeiter ohne grofse Anstrengung das Tau gehörig fest anziehn, und wie das Ende, welches er in der Hand hält und spannt, sich verlängert, so schiefst er dasselbe zugleich regelmäfsig auf, so dafs es nach gemachtem Gebrauche sogleich fortgetragen und anderweitig benutzt werden kann. Hierbei rücken die Windungen des Taues immer höher an der Spindel her-

auf und es würde endlich die Arbeit ganz unterbrochen werden, wenn nicht von Zeit zu Zeit das sogenannte Schrecken erfolgte. Jener Arbeiter ruft nämlich der übrigen Mannschaft zu, dafs sie anhalten solle, und gleich darauf schiebt er das Ende, das er in der linken Hand hält, etwas vor, die sämmtlichen Windungen lösen sich dadurch augenblicklich, und da der Durchmesser der Spindel sich nach unten stark verjüngt, so kann derselbe Arbeiter leicht mit der rechten Hand das Tau wieder auf die dünnste Stelle der Spindel herabdrücken. Es erfolgt diese ganze Operation, wenn der Arbeiter geübt ist, in der Zeit von etwa einer Secunde, und es wäre dabei das Anhalten der Winde gar nicht nöthig, wenn man nicht vermeiden wollte, dafs bei dem plötzlichen Aufhören des Widerstandes die sämmtlichen Arbeiter, sobald dieses ganz unerwartet geschähe, hinfallen könnten.

Um den Effect dieser Winde zu beurtheilen, mufs bemerkt werden, dafs die Reibung, die hier nur Achsenreibung ist, ziemlich unbedeutend bleibt. Die Arbeiter entwickeln aber an den Hebelarmen, die sie vor sich schieben, ohne grofse Anstrengung die Kraft von etwa 60 Pfund, und wenn es nöthig ist und sie sich weit vorbiegen, so steigert sich dieselbe leicht auf das Doppelte. Man kann sonach durch vier Mann einen Zug von 30 bis 60 Centnern ausüben, da aber theils durch längere Arme und theils durch Vermehrung der Mannschaft diese Kraft sich aufs Neue steigert, ohne die Maschine wesentlich zu verändern, so ergiebt sich hieraus die grofse Wirksamkeit dieses so leicht darzustellenden Apparates.

Das Material, woraus die Erdwinde gebaut wird, ist Eichenholz, die Durchsteckarme müssen aber nicht aus starken Stämmen ausgeschnitten sein, vielmehr aus schwachen Bäumen bestehn, die nur etwas beschnitten sind. Am besten ist es, hierzu junge Birkenstämme zu benutzen, die wegen ihrer Zähigkeit einem Bruche am wenigsten ausgesetzt sind. Man kann diese leicht auf 24 Fufs verlängern, so dafs jeder einzelne Arm 12 Fufs lang wird, und alsdann finden 16 Mann an der Winde Platz und können ihre volle Kraft der Spindel mittheilen, ohne dafs ein Bruch erfolgt.

Bei der in Rede stehenden Anwendung der Erdwinde zum Heben des Wuchtbaumes braucht man jedesmal nur etwa 5 Umdrehungen zu machen, alsdann wird die Winde, wenn der Wuchtbaum sinkt, auch wieder zurückgedreht und dieses wiederholt sich immer

in gleicher Art. Man kann deshalb in diesem Falle denjenigen Arbeiter, der das hintere Ende des Taues hält, entbehren, indem man dieses Ende an die Spindel annagelt, alsdann ist es aber zweckmässig, eine cylindrische Spindel zu benutzen, wodurch man den Vortheil erreicht, dafs der nöthige Druck gegen die Durchsteckarme unverändert derselbe bleibt. Hierbei kommt noch der Umstand in Betracht, dafs, wenn die Winde für mehrere Pfähle stehn bleibt, das Tau nicht immer die passende Länge hat. Man mufs alsdann den Wuchtbaum jedesmal an eine andre Stelle des Taues befestigen, und das übrigbleibende Ende des letzteren auf den Wuchtbaum legen, oder es mit einer dünnen Leine an den Haken binden.

In neuerer Zeit benutzt man vielfach gufseiserne Erdwinden, die sich von den vorstehend beschriebenen dadurch unterscheiden, dafs sie zwei Trommeln haben, welche mit einer Anzahl ringförmiger Rillen versehn sind, wie Fig. 256 auf Taf. XIX zeigt. Bei gleichen Durchmessern haftet auf diesen beiden Trommeln das Tau eben so fest, wie auf einer einzelnen, es tritt dabei aber der grofse Vortheil ein, dafs die Arbeit nicht durch das Schrecken unterbrochen werden darf. Die Achse der eigentlichen Erdwinde, woran die Zugbäume angebracht sind, befindet sich an dem mittleren Getriebe, welches beide Trommeln gleichmäfsig und in derselben Richtung dreht. Der Arbeiter, der das abgewundene Tau in Spannung versetzt, kann auch hier nicht entbehrt werden. Dabei wäre noch zu bemerken, dafs man die Rillen beider Trommeln etwas genauer einander gegenüberstellen kann, wenn man die Achsen der letzteren in entgegengesetztem Sinne ein wenig neigt.

Die Anwendung des Wuchtbaumes zum Ausziehn der Pfähle wird besonders in dem Falle sehr schwierig, wenn einzelne Pfähle in tiefes Wasser gerammt sind und sonach kein fester Stützpunkt für den Hebel vorhanden ist. Wenn man nicht starke Rüstungen bauen will, so ist man auf die Benutzung von Schiffen oder kleineren Fahrzeugen hingewiesen. Die Art, wie diese zum vorliegenden Zwecke gebraucht werden, verdient eine nähere Auseinandersetzung, da namentlich leicht eingerammte Rüstpfähle hierdurch sehr bequem gehoben werden können.

Dafs man auch auf Schiffen den Wuchtbaum benutzt, ist keineswegs ohne Beispiel, doch mufs man dabei vermeiden, einen einzelnen Theil des Fahrzeuges einer zu starken Belastung auszusetzen,

auf und es würde endlich die Arbeit ganz unterbrochen werden, wenn nicht von Zeit zu Zeit das sogenannte Schrecken erfolgte. Jener Arbeiter ruft nämlich der übrigen Mannschaft zu, dafs sie anhalten solle, und gleich darauf schiebt er das Ende, das er in der linken Hand hält, etwas vor, die sämmtlichen Windungen lösen sich dadurch augenblicklich, und da der Durchmesser der Spindel sich nach unten stark verjüngt, so kann derselbe Arbeiter leicht mit der rechten Hand das Tau wieder auf die dünnste Stelle der Spindel herabdrücken. Es erfolgt diese ganze Operation, wenn der Arbeiter geübt ist, in der Zeit von etwa einer Secunde, und es wäre dabei das Anhalten der Winde gar nicht nöthig, wenn man nicht vermeiden wollte, dafs bei dem plötzlichen Aufhören des Widerstandes die sämmtlichen Arbeiter, sobald dieses ganz unerwartet geschähe, hinfallen könnten.

Um den Effect dieser Winde zu beurtheilen, mufs bemerkt werden, dafs die Reibung, die hier nur Achsenreibung ist, ziemlich unbedeutend bleibt. Die Arbeiter entwickeln aber an den Hebelarmen, die sie vor sich schieben, ohne grofse Anstrengung die Kraft von etwa 60 Pfund, und wenn es nöthig ist und sie sich weit vorbiegen, so steigert sich dieselbe leicht auf das Doppelte. Man kann sonach durch vier Mann einen Zug von 30 bis 60 Centnern ausüben, da aber theils durch längere Arme und theils durch Vermehrung der Mannschaft diese Kraft sich aufs Neue steigert, ohne die Maschine wesentlich zu verändern, so ergiebt sich hieraus die grofse Wirksamkeit dieses so leicht darzustellenden Apparates.

Das Material, woraus die Erdwinde gebaut wird, ist Eichenholz, die Durchsteckarme müssen aber nicht aus starken Stämmen ausgeschnitten sein, vielmehr aus schwachen Bäumen bestehn, die nur etwas beschnitten sind. Am besten ist es, hierzu junge Birkenstämme zu benutzen, die wegen ihrer Zähigkeit einem Bruche am wenigsten ausgesetzt sind. Man kann diese leicht auf 24 Fufs verlängern, so dafs jeder einzelne Arm 12 Fufs lang wird, und alsdann finden 16 Mann an der Winde Platz und können ihre volle Kraft der Spindel mittheilen, ohne dafs ein Bruch erfolgt.

Bei der in Rede stehenden Anwendung der Erdwinde zum Heben des Wuchtbaumes braucht man jedesmal nur etwa 5 Umdrehungen zu machen, alsdann wird die Winde, wenn der Wuchtbaum sinkt, auch wieder zurückgedreht und dieses wiederholt sich immer

in gleicher Art. Man kann deshalb in diesem Falle denjenigen Arbeiter, der das hintere Ende des Taues hält, entbehren, indem man dieses Ende an die Spindel annagelt, alsdann ist es aber zweckmässig, eine cylindrische Spindel zu benutzen, wodurch man den Vortheil erreicht, dafs der nöthige Druck gegen die Durchsteckarme unverändert derselbe bleibt. Hierbei kommt noch der Umstand in Betracht, dafs, wenn die Winde für mehrere Pfähle stehn bleibt, das Tau nicht immer die passende Länge hat. Man mufs alsdann den Wuchtbaum jedesmal an eine andre Stelle des Taues befestigen, und das übrigbleibende Ende des letzteren auf den Wuchtbaum legen, oder es mit einer dünnen Leine an den Haken binden.

In neuerer Zeit benutzt man vielfach gufseiserne Erdwinden, die sich von den vorstehend beschriebenen dadurch unterscheiden, dafs sie zwei Trommeln haben, welche mit einer Anzahl ringförmiger Rillen versehn sind, wie Fig. 256 auf Taf. XIX zeigt. Bei gleichen Durchmessern haftet auf diesen beiden Trommeln das Tau eben so fest, wie auf einer einzelnen, es tritt dabei aber der grofse Vortheil ein, dafs die Arbeit nicht durch das Schrecken unterbrochen werden darf. Die Achse der eigentlichen Erdwinde, woran die Zugbäume angebracht sind, befindet sich an dem mittleren Getriebe, welches beide Trommeln gleichmäfsig und in derselben Richtung dreht. Der Arbeiter, der das abgewundene Tau in Spannung versetzt, kann auch hier nicht entbehrt werden. Dabei wäre noch zu bemerken, dafs man die Rillen beider Trommeln etwas genauer einander gegenüberstellen kann, wenn man die Achsen der letzteren in entgegengesetztem Sinne ein wenig neigt.

Die Anwendung des Wuchtbaumes zum Ausziehn der Pfähle wird besonders in dem Falle sehr schwierig, wenn einzelne Pfähle in tiefes Wasser gerammt sind und sonach kein fester Stützpunkt für den Hebel vorhanden ist. Wenn man nicht starke Rüstungen bauen will, so ist man auf die Benutzung von Schiffen oder kleineren Fahrzeugen hingewiesen. Die Art, wie diese zum vorliegenden Zwecke gebraucht werden, verdient eine nähere Auseinandersetzung, da namentlich leicht eingerammte Rüstpfähle hierdurch sehr bequem gehoben werden können.

Dafs man auch auf Schiffen den Wuchtbaum benutzt, ist keineswegs ohne Beispiel, doch mufs man dabei vermeiden, einen einzelnen Theil des Fahrzeuges einer zu starken Belastung auszusetzen,

auch erschwert das verschiedenartige Eintauchen, welches hierbei eintritt, die Arbeit aufserordentlich. Das Heben der Pfähle mittelst Winden kann ohne Umstände auch von Fahrzeugen aus geschehn und zwar um so leichter, als diese gewöhnlich schon mit kräftigen Windevorrichtungen zum Heben der Anker versehn sind. In dieser Art wurden, wie bereits erwähnt, die alten Rostpfähle beim Hafenbau in Amsterdam fortgeschafft. Wenn man aber dieses Mittel anwendet, so ist man immer nur auf diejenige Kraft beschränkt, welche die Windevorrichtung selbst auszuüben im Stande ist, und diese genügt gemeinhin nicht, um fest eingerammte Pfähle zu heben. Man kann indessen einen sehr starken Zug hervorbringen, wenn man den hydrostatischen Druck, den ein grofses Fahrzeug erfährt, zum Ausziehn des Pfahles benutzt. Belastet man nämlich ein Schiff, so dafs es recht tief eintaucht, und befestigt alsdann an einer angemessenen Stelle desselben die um den Pfahl geschlungene Kette, so wird das Schiff, sobald die Ladung herausgenommen ist, mit grofser Kraft den Pfahl aufwärts ziehn und denselben heben. Am einfachsten macht sich dieses, wenn man das Schiff voll Wasser laufen läfst und letzteres darauf auspumpt, in ähnlicher Art, wie bei Amsterdam mittelst der sogenannten Kameele die sehr tief gehenden Schiffe gehoben wurden. Man kann hierbei auch die Abwechselung des Wasserstandes benutzen, die in Folge der Ebbe und Fluth in bestimmten Perioden sich wiederholt. Auf solche Art sah ich bei Hamburg Pfähle ausziehn. Es wurden nämlich zwei Kähne zu beiden Seiten des Pfahles gestellt, durch eine starke Balkenrüstung mit einander verbunden, um die Last möglichst gleichmäfsig zu verbreiten und hieran zur Zeit des niedrigsten Wasserstandes der Pfahl befestigt. Sobald das Wasser zu steigen begann, so äufserte sich der hydrostatische Druck desselben gegen die Kähne, die sich erst hoben, wenn bei dem zunehmenden Drucke der Pfahl nachgab. Dieses Verfahren dürfte sehr vortheilhaft scheinen, da man eine Naturkraft benutzt, welche keine Kosten verursacht. Der Gewinn ist aber in der That nicht grofs, denn zunächst ist der Zeitverlust sehr unangenehm, da man in einem Tage mit dem kostbaren Inventarium, nämlich mit zwei Schiffen, höchstens zwei und gewöhnlich sogar nur einen Pfahl heben kann. Sodann aber sind die Kosten eben wegen der Schiffsmiethe auch bedeutend, und es tritt noch die Gefahr hinzu,

dafs der Pfahl nicht sobald nachgiebt und die Fahrzeuge wegen der ungleichmäfsigen Belastung leiden.

Wenn nur leicht eingerammte Rüstpfähle ausgezogen werden sollen, so genügen hierzu schon grofse Seeböte, indem man die Zugkette an das vordere Ende befestigt, wo das Boot wegen des vollen Busens am meisten trägt. Davy beschreibt eine Vorrichtung dieser Art. Es wird nämlich auf dem Boden eines solchen Bootes der Länge nach eine Eisenbahn angebracht, worauf ein Wagen steht, der eine bedeutende Last trägt, und zwei Winden sind aufgestellt, mittelst deren man den Wagen von einem Ende nach dem andern ziehn kann. Man schiebt ihn zunächst nach vorn und bringt die um den Pfahl geschlungene Kette über das Spill oder die horizontale Winde und zieht die Kette steif an. Alsdann bringt man den Wagen ans hintere Ende des Fahrzeuges, wodurch das vordere Ende vom Wasser aufwärts gedrückt wird. Sobald der Pfahl nachgegeben hat, schiebt man den Wagen wieder nach vorn, zieht die Kette von Neuem an und so fort.

Ein ähnliches Verfahren habe ich zum Ausziehn der Rüstpfähle in tiefem Wasser vielfach angewendet. Zum Bauinventarium gehörte ein fest gebautes Fahrzeug, das ursprünglich zu einem englischen Ballastbagger bestimmt war. Ich liefs in dieses eine Last Ballast hineinbringen und bemannte es mit etwa sechs Arbeitern. Der Ballast lag Anfangs ganz vorn und sonach neigte sich das Fahrzeug auch in dieser Richtung stark über. In dieser Stellung wurde die Kette am Spill steif angezogen, alsdann mufsten die Leute den Ballast an das hintere Ende werfen, wobei gewöhnlich schon der Pfahl sich hob, noch ehe die ganze Last versetzt war, und wenn dieses nicht geschah, so liefs ich den Zug dauernd ausüben, während die Leute anderweitig beschäftigt wurden. Nachdem der Ballast einige Male umgeworfen und dabei die Kette immer von Neuem angezogen war, so hatte der Widerstand des Pfahles sich so sehr vermindert, dafs das Umlegen des Ballastes umgangen werden konnte. Wenn in solcher Weise die sämmtlichen Pfähle gelöst waren, so wurde der Ballast fortgeschafft, wodurch das Fahrzeug eine gröfsere Beweglichkeit erhielt, und statt des Ballastes benutzte ich nunmehr nur das Gewicht von etwa zwölf Arbeitern. Diese mufsten sich zuerst möglichst weit nach vorn stellen und nachdem die Kette des Pfahles angezo-

gen war, gingen sie nach hinten, worauf der Pfahl sich wieder hob, die Kette wurde aufs Neue steif gezogen und so fort. Der Pfahl wurde hierdurch sehr schnell so lose, dafs er bald mit der Ankerwinde ausgezogen werden konnte.

§. 42.
Darstellung der Baugrube.

Wenn man bei der Aufstellung eines Bauprojectes sich für eine gewisse Fundirungsart entschieden und die Lage und Ausdehnung des Fundamentes bestimmt hat, so ergiebt sich hieraus die erforderliche Gröfse der Baugrube, sowie auch die Tiefe, in welcher dieselbe ausgehoben werden mufs. Gemeinhin darf man das Aufgraben nicht weiter als bis zur untern Grundfläche des Fundamentes ausdehnen, und nur bei Pfahlrosten wird man, um die Pfähle mit Zapfen versehn und die Rostschwellen aufbringen zu können, die Vertiefung etwas unter den eigentlichen Rost herabtreiben, da jedoch auch dieser untere Raum nicht mit der ausgegrabenen Erde wieder verschüttet, sondern entweder mit einem festen Thonschlage oder mit Mauerwerk ausgefüllt wird, so kann man letzteres schon als einen Theil des Fundamentes betrachten, und sonach wird selbst in diesem Falle die Baustelle bis zu der Tiefe aufgegraben, wo das Fundament beginnt. Die Länge, sowie die Breite der Baugrube, mufs jedesmal gröfser als die des eigentlichen Fundamentes sein, und namentlich ist dieses nothwendig, wenn bei der Fundirung bedeutende Rammarbeiten vorkommen, weil diese durch eine starke Beschränkung des Raumes erschwert werden. Man mufs aus dem Grundrisse entnehmen, wie weit die Baugrube zu erweitern ist, um jeden einzelnen Pfahl bequem einrammen und zugleich die übrigen erforderlichen Apparate, wie etwa die Wasserhebungsmaschinen, Wuchtbäume, Böcke, Rüstungen und dergleichen aufstellen zu können. Bei ausgedehnten Fundirungen wird man mindestens einen freien Raum von 5 Fufs gebrauchen, der sich in der Sohle der Baugrube rings um den Rost herumzieht, doch fehlt es nicht an Beispielen, dafs man ihn auch viel gröfser gewählt hat und namentlich hat dieses Perronet jedesmal gethan. Eine zu grofse Erweiterung der Baugrube hat aber

den Nachtheil, dafs der Zudrang des Wassers auch in demselben Maafse sich zu vermehren pflegt, wodurch nicht nur die Kosten für das Schöpfen vergröfsert, sondern auch der Baugrund verdorben wird. Um einen sehr starken Wasserzudrang zu verhindern, ist es nicht ungewöhnlich, dafs man die Baugrube in mehrere Theile zerlegt. Jede einzelne Abtheilung läfst sich alsdann durch Anwendung der sämmtlichen vorhandenen Schöpfmaschinen leichter trocken legen. Es zeigt sich hierbei indessen der Uebelstand, dafs zwischen den verschiedenen Theilen des Fundamentes kein gehöriger Verband dargestellt werden kann und dieses ist besonders bei solchen Bauwerken bedenklich, von denen man eine vollständige Wasserdichtigkeit verlangt. Dieses wäre z. B. bei den Schiffsschleusen der Fall, wo man eine Trennung des Grundbaues gern vermeidet. Bei andern Bauwerken, die aus vollen Mauermassen bestehn, und wo man von dem Fundamente mehr die sichere Unterstützung des darüber gestellten Baues als Wasserdichtigkeit erwartet, kann eine solche Trennung von keinem wesentlichen Nachtheile sein, und häufig bringt die Anordnung des ganzen Baues es schon mit sich, dafs die tragenden Theile nicht unmittelbar neben einander liegen und sonach besondere Fundamente erhalten müssen, wie dieses z. B. bei gröfsern Brücken fast immer geschieht.

Zu der Theilung der Baugrube giebt zuweilen auch der Umstand Veranlassung, dafs man nicht auf einmal den Bau in seiner ganzen Ausdehnung ohne Störung der Communication oder Hemmung eines Wasserlaufes in Betrieb setzen kann. Um hiervon ein Beispiel anzuführen, so ist zu erwähnen, dafs bei der Brücke zu Moulins über den Allier, wo die sämmtlichen Pfeiler eine zusammenhängende Fundirung erhielten, eine Trennung in der Art vorgenommen wurde, dafs man das Bette des Flusses erst auf die eine und alsdann auf die andere Seite verlegte.

Die Wände der Baugrube dürfen nur in dem Falle, wenn der Boden aus Felsen besteht, sich senkrecht erheben, sonst müssen sie diejenige Neigung erhalten, in welcher die Erde sich noch sicher trägt. Die Vorausbestimmung dieser Neigung ist insofern oft schwierig, als manche Erdarten viel fester zu sein scheinen, als sie wirklich sind. Namentlich findet dieses bei gewissen Gattungen von Thon statt, die beim ersten Abstechen sich beinahe senkrecht und oft sogar überhängend erhalten, die aber, wenn sie längere Zeit hindurch

dem Einflusse der Luft und der Witterung bloſs gestellt sind, so stark abfallen, daſs sie zuletzt ebenso flach geböscht sind, wie der trockne Sand. In dieser Beziehung kann es bei einem recht fetten Thone, der beim Trocknen vielfache Risse bekommt und abbröckelt, sogar zur Verminderung der Kosten beitragen, wenn man ihn mit einer dünnen und etwas geneigten Einfassungsmauer umgiebt. Man braucht dabei, wie Perronet bemerkt, für einen guten Mörtel keineswegs zu sorgen, denn eben dieser Thon vertritt schon die Stelle desselben und die rückwärts geneigte Lage der Steinschichten verhindert das Ausfallen einzelner Theile. In andern Mischungsverhältnissen und namentlich bei einem starken Zusatze von Kalk saugt der Thon leicht Wasser ein und nimmt dabei vollständig die Eigenschaften einer Flüssigkeit an, so daſs er nach und nach eine horizontale Oberfläche bildet. Dieses ist derjenige Baugrund, worin eine Grube am schwierigsten zu eröffnen ist. Durch Absteifungen kann man den Boden wohl einige Zeit hindurch zurückhalten, doch erfordert dieses eine feste Verstrebung und zugleich eine ziemlich dichte Umschliessung. Am sichersten ist es, die Veranlassung zu der gefährlichen starken Durchnässung zu vermeiden, indem man die Quellen, die hineintreten könnten, abfängt und anderweitig ableitet, und demnächst, daſs man den Bau möglichst beschleunigt, um die Baugrube bald wieder verfüllen zu können.

Perronet*) giebt in Betreff der Dossirungen, welche verschiedene Erdarten annehmen, manche interessante Mittheilungen: der Töpferthon steht kürzere Zeit hindurch bis auf 30 Fuſs Höhe ganz senkrecht und sogar überhängend. Frische Gartenerde, die noch nie umgegraben worden und manche Sandarten, welche eine starke Beimischung von Thon enthalten, stehn auch noch beinahe senkrecht, doch nimmt der feine und trockne Sand sogleich eine Neigung an, die nur unter 30 Graden gegen den Horizont ansteigt. Wenn man dagegen in aufgeschütteter Erde gräbt, oder wenn man die ausgehobene Erde abgelagert hat, so gelingt es bei den festeren Bodenarten nicht mehr, so steile Neigungen darzustellen, wie beim ersten Abgraben. Der reine Sand behält in beiden Fällen dieselbe Neigung, während Thon und andre Erdarten sich höchstens unter einem Winkel von 30 bis 36 Graden gegen den Horizont aufbringen lassen.

---

*) *Sur les éboulements* in der *Description des Ponts* p. 631 ff.

Eine Ausnahme macht der grobe Kies oder Steinschutt, der noch unter einem Winkel von 45 Graden aufgeschüttet werden kann.

Indem die frische Erde durch längere Berührung mit der Luft die Eigenschaften verliert, wodurch sie Anfangs sich so steil erhalten konnte, so wird man, wenn die Baugrube lange geöffnet bleiben soll, den Wänden nur die Neigung von 36 bis 30 Graden, oder die $1\frac{1}{3}$- bis $1\frac{3}{4}$fache Anlage geben dürfen. Gemeinhin begnügt man sich indessen, den Neigungswinkel zu 45 Graden anzunehmen und oft macht man ihn noch gröfser.

Mitunter ist es in ähnlicher Art, wie bereits bei Gelegenheit der Ausführung der Brunnen und Entwässerungsgräben bemerkt worden, nicht möglich, die Baugrube in einer gewissen Tiefe darzustellen und sie zugleich vom Wasser frei zu halten, indem letzteres beim starken Zudrange immer die Erde mit sich reifst und die Grube von Neuem anfüllt. In diesem Falle mufs man eine andre Fundirungsart wählen, wobei die Trockenlegung der Baugrube ganz vermieden wird, oder doch nicht früher eintreten darf, als bis der Boden sicher überdeckt ist. Die nöthige Vertiefung läfst sich alsdann aber nicht durch Graben darstellen, sondern mufs durch Baggern bewirkt werden. Von diesen Fundirungsarten wird später die Rede sein.

Gewöhnlich läfst man die Seitenwände der Baugrube nicht ohne Unterbrechung bis zur Sohle herabreichen, sondern bringt dazwischen in verticalen Abständen von etwa 6 Fufs noch Bankete von 4 bis 6 Fufs Breite an. Durch diese wird die Neigung der Wände noch mehr ermäfsigt, und man erreicht sonach eine um so gröfsere Sicherheit gegen das Einstürzen der Dossirungen. Dabei treten zugleich andere Vortheile ein, wenn nämlich hin und wieder einzelne Theile in den Wänden nachgeben und herabfallen, so stürzen sie nicht mehr bis auf die Sohle der Grube, sondern bleiben auf dem nächsten Banket liegen. Auch kann man diese Bankete sehr zweckmäfsig zum Aufstellen von Utensilien und Materialien benutzen, und dadurch der Baugrube etwas mehr Räumlichkeit geben, doch mufs man sich hüten, zu grofse Lasten darauf zu bringen, weil die Bankete sonst unter denselben nachgeben. Eben so darf auch diejenige Erde, welche zur späteren Ausgleichung des Bodens in der Nähe der Baugrube abgelagert wird, nicht unmittelbar am Rande der letzteren hoch aufgeschüttet werden, weil

dadurch gleichfalls die Dossirung gefährdet, oder wenn das Material aus Sand besteht, dieser herabgeweht werden könnte. Diejenige Erde aber, die später nicht gebraucht wird, mufs man sogleich an die dafür bestimmten Stellen schaffen, um das mehrfache Auf- und Abladen zu vermeiden.

Ueber die vortheilhafteste Anordnung der Erdarbeiten wird bei Gelegenheit des Canalbaues die Rede sein, hier wäre nur in Bezug auf die Erdtransporte Einiges zu erwähnen. Beim Ausheben einer Baugrube sind nämlich häufig bedeutende Erdmassen zwischen denselben Punkten zu bewegen, während bei Canälen und andern ausgedehnten Anlagen die zu transportirende Erde von verschiedenen Stellen entnommen und immer an andere Stellen gebracht wird, die meist weit von einander entfernt liegen. Im vorliegenden Falle ist daher eine Erleichterung des Erdtransportes insofern zulässig, als die betreffenden Vorrichtungen für die ganze Dauer dieser Arbeit gebraucht werden, ohne dafs man sie verstellen darf. Dabei ist noch der Umstand von Wichtigkeit, dafs gewöhnlich das Material stark gehoben werden mufs. Wollte man dieses dadurch bewirken, dafs man die Pferde unmittelbar vor die Wagen spannt, so würde deren Leistung viel geringer ausfallen, weil das Pferd nicht nur die eigentliche Ladung nebst dem Wagen ziehn, sondern auch jedesmal sein eigenes Gewicht heben mufs. Es ist daher passender, durch einen Pferdegöpel oder eine Dampfmaschine die Wagen bis zu der Stelle der Bahn heraufziehn zu lassen, wo die starke Steigung aufhört. Aufserdem mufs dafür gesorgt werden, dafs die hin- und hergehenden Wagen einander nicht hindern, auch das Aufladen keine Unterbrechung leidet, und überhaupt der ganze Betrieb recht regelmäfsig erfolgt.

Wird die Erde in Handkarren heraufgeschoben, so läfst sich dabei insofern eine Erleichterung einführen, als man die gleichzeitig heraufgehende beladene Karre mit der herabgehenden durch ein über eine Rolle gezogenes Tau verbindet. Der herabgehende Arbeiter, der sonst die Karre nur zurückhalten würde, schiebt sie alsdann gleichfalls mit einer gewissen Kraft vor sich, und trägt dadurch mit dazu bei, die volle Karre hinauf zu schaffen. Auf englischen Baustellen habe ich diese Anordnung wiederholentlich gesehn, und zwar hatten alsdann die Bahnen sehr steile Steigungen.

Dafs die Anlage leichter Eisenbahnen grofse Vortheile

bietet, darf kaum erwähnt werden, die Beschreibung derselben in ihrer gewöhnlichen Anordnung gehört zwar nicht hierher, doch will ich die Construction einer solchen Bahn und der dazu gehörigen Wagen mittheilen, die ich im Jahre 1828 in Pillau aus dem dort vorräthigen Material zusammenstellte und mehrere Jahre hindurch vortheilhaft benutzte. Fig. 230 *a* und *b* zeigt diese Bahn in der Ansicht von der Seite und von vorn. Ein vierzig Fuſs langer kieferner Balken war der Länge nach durchschnitten und beide Stücke waren durch vier Riegel und drei Schraubenbolzen zu einem festen Rahmen verbunden, der die Bahn bildete. Die oberen Kanten waren gebrochen, um die schmale Fläche darzustellen, welche die eiserne Schiene trug. Das Gewicht eines solchen Bahntheiles war nicht viel gröſser, als das eines 40 Fuſs langen Balkens, es lieſs sich bequem auf einem zweirädrigen Wagen transportiren und eine groſse Erleichterung für weitere Transporte lag noch darin, daſs der Rahmen im Wasser schwamm und die Benetzung ihm auch nicht schadete. Von diesen Bahnen wurden nach Umständen zwei bis vier zusammengesetzt und die groſse Stärke des Holzes erlaubte es, die Unterstützungen in weiten Entfernungen anzubringen. Am deutlichsten zeigte sich dies beim Löschen der Steine: ich legte ein Ende einer solchen Bahn auf das Fahrzeug, worin die Steine angeliefert wurden und das andre auf die Rüstung am Ufer, woher der Rahmen fast in seiner ganzen Länge frei lag, und doch gingen Steine darüber, die bis 30 Cubikfuſs hielten. Dabei gab sich noch der groſse Vortheil zu erkennen, daſs ein geringes Schwanken des Schiffes bei mäſsigem Wellenschlage nicht das sanfte Aufstellen des Steines auf den Wagen verhinderte, denn der Wagen nebst demjenigen Ende der Bahn, worauf er stand, machte alle Schwankungen des Schiffes mit, und so wurde das Löschen der Steine nicht leicht durch ungünstige Witterung unterbrochen. Sodann konnten mittelst dieser Bahn, wenn ihr Ende über ein Bohlwerk etwa 6 Fuſs weit vortrat, auch Fahrzeuge beladen werden, ohne daſs man für eine besondere Unterstützung des überstehenden Endes sorgen durfte.

Die Zusammensetzung des W a g e n s richtete sich nach der Form und Gröſse der guſseisernen Scheiben, die zufälliger Weise zum Hafenbau-Inventarium gehörten. Von denjenigen Einrichtungen, die man heut zu Tage bei Eisenbahnwagen anwendet, konnte damals

und unter den dortigen Verhältnissen nicht die Rede sein. Alles mufste so angeordnet werden, dafs es sich ohne grofse Kosten durch einen gewöhnlichen Schmid ausführen liefs. Die Achsen bestanden aus Eisenstangen von quadratischem Querschnitt, die 1½ Zoll breit und hoch waren, die cylindrischen Ansätze, um welche sich die Räder drehten, hatten 1¼ Zoll Durchmesser. Diese Achsen waren in zwei Stücke Eichenholz von 4 Zoll Breite und Höhe eingelassen und zwei Langbäume von denselben Dimensionen verbanden sie miteinander. Vier Schraubenbolzen gaben dem so gebildeten Rahmen die nöthige Festigkeit und griffen zugleich durch die Achsen hindurch. Die Spurweite des Wagens maafs 2½ Fufs. Ich versuchte zuerst den Wagen nur auf einer Holzbahn, also ohne eiserne Schienen gehn zu lassen, wo sich schon eine merkliche Erleichterung gegen die gewöhnlichen Erdwagen zeigte, denn ein mit 20 Cubikfufs Sand oder Kies beladener Wagen konnte bequem durch zwei Arbeiter fortgeschoben werden. Sobald indessen feuchte Witterung eintrat, so nahm der Widerstand sehr merklich zu und alsdann trat auch eine starke Abnutzung der Bahn ein. Hiernach war die Anwendung von Schienen nicht zu umgehn. Ich versuchte zuerst zu denselben ganz schwaches Bandeisen anzuwenden, welches 1 Zoll breit und noch nicht voll 1 Linie stark war. Den erwähnten Uebelständen wurde hierdurch auch vorgebeugt, aber es zeigte sich die eigenthümliche Erscheinung, dafs durch gröfsere Lasten, die darüber gingen, die Schienen förmlich ausgewalzt wurden. Dieselben lagen nämlich, wenn die Bahn nicht gebraucht wurde, ziemlich gespannt auf dem Rahmen, sobald aber der Wagen schwer beladen darüber gezogen wurde, so erhoben sich die Schienen vor den Rädern und bildeten wellenförmige Krümmungen, die vor dem Wagen herliefen und gewöhnlich die sämmtlichen Nägel, womit sie befestigt waren, gewaltsam herausrissen, so dafs diese oft hoch in die Luft flogen. Als ich später den Schienen die Stärke von 1½ Linien oder ⅛ Zoll gegeben hatte, verschwand auch dieser Uebelstand, und nur beim Lossen sehr grofser Steine, wo der Einflufs der starken Einbiegung der Bahn auch schon merklich werden mochte, gab sich zuweilen dieselbe Erscheinung wieder zu erkennen. Die Schienen hatten die Breite von 1 Zoll und der laufende Fufs wog ½ Pfund.

Wenn der Wagen zum Steintransport benutzt werden sollte, so durften nur einige Lagerhölzer darauf gelegt, oder leicht befestigt

werden, wenn dagegen Erde oder Sand und Kies damit verfahren wurde, so war es nöthig, für ein leichtes Entleeren des Kastens zu sorgen. Der Kasten hatte die Gestalt eines Trichters und war aus einzölligen Brettern, die in den Kanten gegen Leisten genagelt waren, zusammengesetzt. Am Boden hatte er eine Oeffnung, die mittelst einer beweglichen Klappe geschlossen wurde. Letztere war an der einen Seite durch zwei Charniere oder Bänder befestigt, und die untern Arme derselben verlängerten sich bis auf die andere Seite, wo sie in Oesen ausgingen. Hier waren die Leinen angesteckt, womit man die Klappe heben und herablassen konnte. Die Figuren zeigen die ganze Einrichtung. Die Bodenklappe ist in ähnlichen Fällen schon häufig benutzt worden, doch giebt man ihr immer eine andere Einrichtung, und hebt und schliefst sie gewöhnlich durch Griffe und Haken, die durch Federn angedrückt werden. Es treten jedoch dabei manche Uebelstände ein: der Arbeiter mufs sich nämlich bücken und mit der Hand die Klappe aufheben, ferner ist ein recht scharfes Anziehn der Klappe dabei nicht möglich, und endlich wird dieselbe durch den Haken nur an einem Punkte unterstützt, woher sie leicht durchbiegt. Bei der hier gewählten Einrichtung ist das Verfahren sowohl beim Oeffnen, als beim Schliefsen sehr einfach und bequem und die Klappe kann jedesmal scharf angezogen werden. Zwei Leinen, die an die Arme der Charniere befestigt sind, gehn durch gehörig weite Einschnitte zwischen dem erwähnten Rahmen und dem Kasten hindurch und sind über zwei Klampen geführt, welche seitwärts auf den letzten genagelt sind. Die Gestalt dieser Klampen, welche man Hornklampen nennt, wenn sie wie hier nur einen aufwärts gerichteten Arm haben, ergiebt sich aus den beiden Figuren. Sie dienen zum scharfen Anziehn und Befestigen der Taue auf Schiffen, wo sie allem laufenden Tauwerk die nöthige Haltung geben. Einige Reibung verursachen sie freilich, doch kommt es im vorliegenden Falle hierauf nicht an. An die eine Leine ist ein kleiner Block befestigt und um denselben ist die andere Leine gezogen. Sobald man das lose Ende der letzten anzieht, so wird die Klappe auf beiden Seiten gehoben. Hat man aber jenes Ende scharf angezogen und die Klappe genau geschlossen, so giebt die Klampe Gelegenheit, die Leine mit der vollen Spannung zu befestigen. Fig 230 *a* zeigt die sehr einfache Befestigungsart der Leine, man fafst nämlich von ihrem losen Ende eine Schleife, und zieht diese unter der Leine möglichst

weit auf die Klampe. Alsdann bedrückt die stark gespannte Leine selbst das untere Ende und die Verbindung kann sich nicht lösen, bis man an dem losen Ende zieht und die Schleife hervorreifst. Wenn der Arbeiter die Klappe wieder heben und befestigen will, nachdem der Inhalt des Kastens herausgefallen ist, was in der Zeit von einigen Secunden geschieht, so zieht er die Leine, die er in der Hand behalten hat, wieder an und versteckt das Ende derselben in der erwähnten Art, alsdann ist der Wagen sogleich zur Aufnahme der neuen Füllung vorbereitet.

§. 43.
Umschliefsung der Baugrube.

Indem das Verlegen der Roste, das Aufbringen der Fachbäume, so wie auch viele andre Arbeiten bei der Fundirung sich nur nach Trockenlegung der Baugrube ausführen lassen, diese aber nicht selten in dem Flufsbette selbst, oder in einer gröfseren Wasserfläche sich befindet, so mufs sie durch eine wasserdichte Wand getrennt werden. Dergleichen Wände, die oft nur in Dammschüttungen bestehn, jedesmal aber nach Beendigung des Baues wieder beseitigt werden, nennt man Fangedämme. Bevor ich zur Beschreibung derselben übergehe, mag einer Vorkehrung gedacht werden, wodurch man, ohne die ganze Baugrube zugänglich zu machen, den jedesmaligen Abschlufs nur auf einen sehr kleinen Theil derselben beschränkt, um einzelne unter Wasser befindliche Verbandstücke zur Verbindung mit andern vorzubereiten. Auch in der Taucherglocke ist dieses vielfach geschehn, von der jedoch erst später die Rede sein kann.

Beim Bau verschiedner Eisenbahn-Brücken in den Niederlanden wurden wasserdichte hölzerne Kasten benutzt, die im Boden mit einer Oeffnung versehn waren, durch welche der Rostpfahl, wenn sie schwimmend darüber geschoben und gesenkt waren, hineindrang. Nach Verschliefsung der Fuge rings um den Pfahl konnten sie ausgepumpt werden, und so war es möglich bis zur Tiefe von $2\frac{1}{4}$ Fufs unter Wasser an den Rostpfahl einen regelmäfsigen Zapfen anzuschneiden, der in die später darauf zu bringende Schwelle eingriff.

Der Kasten war 6 Fufs lang, 4 Fufs breit und 3 Fufs hoch, und wie ein Prahm zusammengesetzt und abgedichtet. Fig 257 auf Taf. XIX zeigt ihn im Querschnitt. In der Mitte seines Bodens befand sich eine Oeffnung von solcher Gröfse, dafs jeder abzuschneidende Pfahl mit hinreichendem Spielraum darin eindringen konnte. Um den Rand dieser Oeffnung war ein leinener Sack genagelt, der im untern Theile mit Leder gefüttert war. Vor dem Versenken des Kastens schlang man eine Leine einmal lose um den Sack, dieselbe war aber, wie die Figur zeigt, über zwei Rollen geleitet, so dafs man sie von oben scharf anziehn konnte.

Der Kasten wurde über den Pfahl gebracht, durch eingelegte Gewichte bis gegen seinen obern Rand gesenkt, und nunmehr der Zwischenraum zwischen dem Sack und dem Pfahl nahe über dem Boden möglichst dicht mit Werg gefüllt, was bei beschlagenen Pfählen nicht leicht war. Indem hierauf die beiden Enden der Leine scharf angezogen und befestigt wurden, so hatte man den wasserdichten Abschlufs vollständig dargestellt und man konnte den Kasten auspumpen, wobei man jedoch sehr vorsichtig immer die nöthigen Gewichte einbringen mufste, um den Sack nicht einem zu starken Zuge auszusetzen, wobei er zerrissen wäre. Sobald der Kasten leer war, stiegen zwei Arbeiter hinein, zogen den obern Theil des Sackes herab und schnitten in der verlangten Höhe den Zapfen an. Der Ober-Inspector des Wasserstaates Herr F. W. Conrad spricht die Ansicht aus *), dafs man dieselbe Vorrichtung auch für gröfsere Tiefen benutzen und sie ohne Schwierigkeit so weit ausdehnen könne, dafs sich dadurch alle Zapfen, die auf eine Schwelle treffen, gleichzeitig anschneiden lassen.

Was die gewöhnlichen Fangedämme betrifft, so müssen sie das Wasser von der Baugrube möglichst abhalten, also wasserdicht, hinreichend hoch und so fest sein, dafs sie nicht nur dem Wasserdruck sondern auch dem Wellenschlage den nöthigen Widerstand leisten. In manchen Fällen dienen sie nur zur Sicherung der Baugrube gegen starke Durchströmung, ihre vollständige Wasserdichtigkeit ist alsdann entbehrlich, so wie sie auch keinem starken Wasserdrucke ausgesetzt sind.

Bei einem Fangedamme, der die Baugrube zur Seite umschliefst,

---

*) *Verhandelingen van het koninglijk Instituut van Ingenieurs.* 1848. *p.* 33.

ist zunächst die Höhe desselben zu bestimmen, indem von dieser seine Stärke und Constructionsart abhängt. Wenn die Wasserstände regelmäfsig beobachtet sind, so kann man aus den Tabellen ersehn, bis zu welcher Höhe die stärksten Anschwellungen steigen und welche Wasserstände man während der muthmaafslichen Dauer des Grundbaues erwarten darf. Bis über die höchsten Wasserstände, welche jemals vorgekommen sind, wird man niemals die Fangedämme aufführen, denn man wählt zum Grundbau immer diejenige Jahreszeit, wo die Anschwellungen selten und nicht bedeutend hoch noch auch lange anhaltend sind. Es kann freilich geschehn, dafs der Theil des Baues, für den man den Fangedamm gebraucht, in einem Sommer nicht beendigt wird und es sonach auch vortheilhaft wäre, wenn die Umschliefsung selbst die höchsten Winter- oder Frühjahrsfluthen abhalten könnte, da jedoch die Kosten eines Fangedammes im Allgemeinen nicht der ersten Potenz der Höhe, sondern dem Quadrate derselben proportional sind, und in der Regel selbst dieses Verhältnifs noch nicht genügt, so mufs man, um gar zu grofse Ausgaben zu vermeiden, solche aufserordentliche Fälle unbeachtet lassen, und sich darauf gefafst machen, sobald sie eintreten, die Arbeit einzustellen und den ausgeführten Theil des Werkes mit Wasser bedecken zu lassen.

Auf Baustellen neben Gewässern, die einem starken Fluthwechsel unterworfen sind, pflegt man die Fangedämme nur bis zum Mittelwasser aufzuführen. Die Arbeitszeit wird alsdann freilich auf wenige Stunden beschränkt, denn sobald das Wasser merklich steigt, füllt es die Baugrube wieder an. Der gröfste Theil der Hafenbauten in England kommt in dieser Art zur Ausführung, und wenn die vielfachen Unterbrechungen dabei auch sehr störend sind, so läfst sich doch nicht verkennen, dafs die regelmäfsige Wiederkehr des niedrigen Wasserstandes die Fundirung sehr erleichtert.

Gewöhnlich giebt man den Fangedämmen eine etwas gröfsere Höhe, als diejenigen Wasserstände erreichen, vor welchen man gesichert sein will. Die Stärke eines Fangedammes ist aber von seiner Höhe abhängig, und zwar ist es nicht nur nöthig, ihm bei gröfserer Höhe auch eine gröfsere Breite zu geben, sondern die ganze Construction mufs alsdann auch solider sein. Bei einer Höhe von wenigen Fufsen genügt es, den Erddamm ohne alle Holzwand aufzuschütten, doch lagert sich die Erde fester und läfst sich auch

besser stampfen, wenn man sie wenigstens gegen eine dichte Wand lehnt, die alsdann immer auf der innern Seite oder auf der Seite nach der Baugrube sich befindet. Hierher gehört der bereits erwähnte Fall, dafs man den für das Fundament bestimmten Raum mit einer Spundwand umgiebt und dieselbe von aufsen mit einem Thonschlage versieht. Statt der Spundwand kann man sich indessen auch einer Stülpwand (Fig. 220) bedienen, und wenn es nicht darauf ankommt, den Boden selbst zu comprimiren, um die etwa darin befindlichen Wasseradern zu schliefsen, so läfst sich die Rammarbeit merklich erleichtern, wenn man nicht die Bohlen so tief einrammt, dafs sie dadurch einen sichern Stand erhalten, sondern eine verholmte Pfahlreihe anbringt und jene dagegen lehnt. Hierbei wird die Bohlenwand häufig nicht senkrecht gestellt, sondern schräge und zwar mit einer Neigung von 30 bis 45 Graden gegen den Horizont auf den erwähnten Holm gelehnt. In diesem Falle lassen sich die Fugen der Wand noch durch darübergeworfenen Mist oder belaubte Zweige etwas dichten, so dafs die Erde nicht hindurchfällt. Man kann alsdann die Spundwand ganz entbehren, und selbst die Ueberdeckung der Fugen durch eine zweite Lage von Brettern oder die Anbringung der gestülpten Wand ist weniger nothwendig, ja es kommt sogar vor, dafs man nicht einmal Bohlen oder Bretter benutzt, sondern jene Wand nur aus Latten oder Stangen darstellt.

In dieser Art erbaute man am Zusammenflufs des Cure mit der Yonne Fangedämme, welche, wie Figur 231 *a* und *b* Taf. XVII in der Ansicht von vorn und von der Seite zeigt, einen Wasserstand von 9 Fufs abhielten *), doch war während ihrer Ausführung der Wasserstand bedeutend niedriger, weil sie sonst nicht darzustellen gewesen wären. Im Abstande von 7 Fufs von einander wurden schräge Böcke aufgestellt und darüber zwei Reihen Balken gelegt, welche die Holzwand trugen. Diese bestand nur aus Stangen, und um deren Fugen zu decken, legte man eine starke Lage belaubtes Strauch oder Stroh darüber und hierauf ruhte der wasserdichte Damm. Die Stützen in der Mitte jedes Bockes nebst den Bohlen, worauf sie standen, konnten aber erst angebracht und eingetrieben werden, nachdem das Wasser aus der Baugrube schon entfernt war.

---

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1832. *I. p.* 403. und in dem *Recueil de dessins, rélatifs à l'art de l'ingénieur.*

Es wird angeführt, dafs ein Fangedamm dieser Art in einer Länge von 64 Fufs in zwei Tagen dargestellt werden konnte.

Auch der wichtige Fangedamm, den Thunberg bei Carlscrona ausführte, wurde durch eine solche schräge Wand gebildet, die jedoch aus einer Spundwand und zwar mit der Fig. 201 angegebenen Spundung bestand. Dieser Fangedamm ist auf eigenthümliche Weise erbaut, indem in der Wassertiefe von einigen zwanzig Fufs das Gerüste des Dammes aufgestellt und verbunden wurde. Die Balken, welche den Längenverband bildeten, nagelte man tief unter Wasser auf Böcke, die vorher herabgelassen waren, und rammte alsdann die schräge Spundwand davor. Letztere wurde nur etwa bis zur halben Höhe mit Erde hinterfüllt, da sie an sich schon den wasserdichten Schlufs darstellen sollte. Nachdem dieser Fangedamm indessen durchbrochen war, führte man verschiedene Verstärkungen dabei ein. Dazu gehörte, das eine Menge Pfähle normal gegen die Spundwand eingerammt wurden, um diese sicher zu halten, und ausserdem baute man dahinter noch einen zweiten Fangedamm, damit jeder einzelne nur dem halben Wasserdrucke ausgesetzt wäre. *) Eine nähere Beschreibung übergehe ich, indem ähnliche Constructionen wohl keine Anwendung finden dürften, dieser Bau gehört aber wegen der künstlichen Anordnungen, die dabei gewählt waren, zu den interessantesten Werken, und es ist zu bedauern, dafs die Mittheilungen darüber so wenig klar sind.

Bei Bétonfundirungen stellt man häufig auch Fangedämme aus Béton dar, die im Zusammenhange mit dem Grundbette sogleich rings um dasselbe aufgeschüttet werden. Doch geschieht dieses nur, wenn der gröfste Theil solcher Dämme das Mauerwerk ersetzen soll, denn ohne diesen doppelten Zweck würden sie zu theuer ausfallen und aufserdem wäre ihre Fortschaffung unter Wasser auch zu schwierig.

Am häufigsten werden die Fangedämme in der Art construirt, das man zwei senkrechte Holzwände darstellt und den Zwischenraum mit Erde ausfüllt. Da die Erdschüttung vorzugsweise den wasserdichten Schlufs bewirken soll, so ist es nöthig, das sie auch die gehörige Breite erhält, aufserdem aber vermehrt sich durch eine gröfsere Breite auch die Masse des Dammes und trägt dadurch zu seiner Stabilität bei. Hierzu kommt noch, dafs die Fangedämme bei

---

*) *Essai de bâtir sous l'eau par J. Fellers.* Stockholm 1776.

einer beschränkten Ausdehnung der Baugrube zugleich zum Beischaffen von Materialien und Geräthschaften benutzt werden, weshalb sie nicht zu schmal sein dürfen. Bei niedrigen Fangedämmen ist die Breite gewöhnlich der Höhe gleich, wenn aber die Höhe 8 bis 9 Fufs übersteigt und sonach die Breite überflüssig grofs sein würde, so pflegt man sie in geringerem Verhältnisse als die Höhe wachsen zu lassen. Hiernach hat sich bei uns die Regel gebildet, dafs man bei einer Höhe von mehr als 8 Fufs die Breite des Fangedammes gleich der halben Höhe und 4 Fufs annimmt. In Frankreich ist man gewohnt, bei einer Höhe bis zu 9½ Fufs die Breite der vollen Höhe gleich zu setzen, über diese Grenze hinaus läfst man aber die Breite nur um den dritten Theil der Mehrhöhe wachsen.*) In England betrachtet man die Fangedämme nicht als Theile des Baues, sie werden daher in die eigentlichen Bauprojecte auch nicht mit aufgenommen und es bleibt ihre Anordnung und Ausführung den Entrepreneuren überlassen.

Die gewöhnliche Construction der Fangedämme ist folgende: in zwei Reihen werden Pfähle in Abständen von 4 bis 5 Fufs eingerammt, die beiden Reihen sind aber so weit von einander entfernt, dafs, mit Rücksicht auf die dagegen zu lehnenden Bohlenwände, die Erdschüttung die vorstehend angegebene Breite erhält. Diese Pfähle müssen so fest im Grunde stecken, dafs sie nicht nur dem Drucke des Wassers Widerstand leisten, sondern, wenn es nöthig sein sollte, den losen aufgeschwemmten Grund innerhalb des Fangedammes auszubaggern, sie auch dadurch nicht ihren sichern Stand verlieren. Die beiden Pfahlreihen werden ferner in gleicher Höhe abgeschnitten, mit Zapfen versehn und mit Holmen überdeckt. Fig, 232 zeigt diese Anordnung im Querschnitte. Um jedoch den Fangedamm gegen ein Ausdrängen durch die einzubringende Erdschüttung zu sichern und zugleich seine beiden Wände mit einander zu verbinden, so werden in demselben Abstande, in welchem die Pfähle stehn, Querzangen angebracht, welche über beide Holme greifen. In Frankreich ist eine andere Construction üblich, man nagelt nämlich, wie Fig. 233 zeigt, an die äufsern Seiten der Pfähle Rahmen von Kreuzholz, und verbindet diese unter sich durch verkämmte Zangen. Häufig läfst man aber auch jene Rahmen fort,

*) Sganzin, *programme IV. édition. p.* 305.

indem schon die innere Verkleidung ihre Stelle vertritt, und man verbindet nur die gegenüberstehenden Pfähle in beiden Reihen durch doppelte und mit Schraubenbolzen zusammengezogene Zangen, wie Fig. 235 *a* und *b* in der Ansicht von oben und im Querschnitte zeigt. Eine solche Anordnung sah ich bei einem Fangedamm im Hâvre. In beiden Fällen ist die französische Constructionsart wohl der bei uns üblichen vorzuziehn, denn zunächst sichert sie die Wände vollständiger gegen ein Ausweichen, als dieses bei der Verbindung durch Zapfen möglich ist, und sodann werden die Pfähle auch nicht verschnitten und können nach Beseitigung des Fangedammes zu gleichem Zwecke wieder benutzt werden.

Bevor die Zangen zur Verbindung der beiden Pfahlreihen aufgebracht werden, muſs man schon die dichten Bohlenwände auf der innern Seite der Pfähle einsetzen, gegen welche die Erdschüttung sich lehnt. Das einfachste Verfahren ist, daſs man Bohlen horizontal an den Pfählen herabschiebt, da es jedoch bei gröſserer Wassertiefe nicht mehr möglich sein würde, die untern Bohlen zu halten, bevor die Füllung eingebracht ist, so verbindet man die einzelnen Bohlen schon vorher zu Tafeln, welche die ganze Höhe des Fangedammes haben, und bemüht sich, sie beim Einsetzen bis in den Grund herabzustoſsen, damit nicht groſse Fugen über dem natürlichen Boden offen bleiben. Zu diesem Zwecke ist es vortheilhaft, unmittelbar an der innern Seite der Pfahlreihen eine etwas vertiefte Rinne auszubaggern, deren Sohle möglichst eben ist. Die Tafeln werden, wie Fig. 232 zeigt, auf der innern Seite durch aufgenagelte Leisten verbunden, man muſs aber dafür sorgen, daſs die Stöſse zwischen je zwei Tafeln jederzeit auf Pfähle treffen und beide Enden sich noch sicher an diese lehnen. Um den Stoſs zwischen beiden Tafeln besser zu dichten und um zugleich ein Aufheben oder Umschlagen derselben zu verhindern, rammt man auch wohl über den Stoſs noch eine Bohle, wodurch die Tafeln an ihren Enden sicher gehalten werden.

Diese Anordnung läſst sich nur so lange anwenden, als der Wasserdruck nicht bedeutend ist; wenn derselbe gröſser wird, so kann man in vielen Fällen noch von den Stülpwänden vortheilhaft Gebrauch machen. Bei diesen schlieſst sich jede einzelne Bohle an die Unebenheiten des Grundes an und läſst sich in einen weichen Boden leicht eintreiben. Die erste Reihe der Bohlen er-

hält durch die zweite, welche die Fugen verdeckt, noch eine bedeutende Verstärkung und sonach darf man bei niedrigen Fangedämmen nicht besorgen, dafs die Bohlen sich ausbauchen. Bei gröfserer Höhe des Fangedammes mufs man durch Anbringung besonderer Riegel dafür sorgen, dafs die Bretterwände nicht zu stark durchbiegen und zu weite Fugen sich öffnen. Wenn gerade recht niedriges Wasser zur Zeit der Ausführung des Fangedammes stattfindet und die Wassertiefe nicht grofs ist, so genügt es, in der Höhe des Wasserspiegels noch eine Bohle oder ein Stück Halbholz gegen die Pfähle zu nageln, im entgegengesetzten Falle läfst sich ein solcher Riegel auch mittelst aufgenagelter Latten leicht bis zu jeder beliebigen Tiefe herabschieben und im Wasser erhalten. Indem es hierbei auf eine geringe Differenz in der Höhe nicht ankommt, so dürfen die Stöfse zwischen diesen Riegeln nicht gerade auf die Pfähle treffen, sondern es ist besser, ihnen dadurch eine sichere Haltung zu geben, dafs man sie noch über die Pfähle vortreten und gegenseitig an einander vorbeischiefsen läfst, so dafs sie eine etwas geneigte Lage erhalten. Wenn jedoch die Holme mit der innern Seite der Pfahlreihe bündig verlegt sind und man gegen diese wieder die Stülpwand lehnen wollte, welche weiter unterhalb um die Breite des vorgeschobenen Riegels von der Pfahlwand entfernt gehalten wird, so würde der Fangedamm unten schmaler als oben sein. Um dieses zu vermeiden, mufs man vor dem Holme oder wenig darunter noch einen zweiten Riegel von derselben Stärke, wie den untern, anbringen und beide als Lehren beim Einrammen der Stülpwand benutzen.

Wird endlich der Fangedamm etwa 12 Fufs hoch oder darüber, so mufs man zu seiner Verkleidung und namentlich auf der innern Seite, wo er nicht nur den Druck der eingeschütteten und festgestampften Erde, sondern aufserdem auch den des äufsern Wassers auszuhalten hat, eine Spundwand wählen. Bei derselben vermeidet man viel sicherer alle weit geöffnete Fugen, die sonst leicht bei tiefem Wasser vorkommen, aufserdem aber besitzt die Spundwand auch grofse Steifigkeit, und wenn vielleicht in ihr ein geringes Einbiegen eintreten sollte, so wird dieses nicht mehr in den einzelnen Bohlen stattfinden, sondern sich auf gröfsere Theile der Wand erstrecken und sonach kein nachtheiliges Oeffnen der Fugen zur Folge haben. Endlich ist noch die Anbringung der Spundwände,

indem schon die innere Verkleidung ihre Stelle vertritt, und man verbindet nur die gegenüberstehenden Pfähle in beiden Reihen durch doppelte und mit Schraubenbolzen zusammengezogene Zangen, wie Fig. 235 *a* und *b* in der Ansicht von oben und im Querschnitte zeigt. Eine solche Anordnung sah ich bei einem Fangedamm im Hâvre. In beiden Fällen ist die französische Constructionsart wohl der bei uns üblichen vorzuziehn, denn zunächst sichert sie die Wände vollständiger gegen ein Ausweichen, als dieses bei der Verbindung durch Zapfen möglich ist, und sodann werden die Pfähle auch nicht verschnitten und können nach Beseitigung des Fangedammes zu gleichem Zwecke wieder benutzt werden.

Bevor die Zangen zur Verbindung der beiden Pfahlreihen aufgebracht werden, muſs man schon die dichten Bohlenwände auf der innern Seite der Pfähle einsetzen, gegen welche die Erdschüttung sich lehnt. Das einfachste Verfahren ist, daſs man Bohlen horizontal an den Pfählen herabschiebt, da es jedoch bei gröſserer Wassertiefe nicht mehr möglich sein würde, die untern Bohlen zu halten, bevor die Füllung eingebracht ist, so verbindet man die einzelnen Bohlen schon vorher zu Tafeln, welche die ganze Höhe des Fangedammes haben, und bemüht sich, sie beim Einsetzen bis in den Grund herabzustoſsen, damit nicht groſse Fugen über dem natürlichen Boden offen bleiben. Zu diesem Zwecke ist es vortheilhaft, unmittelbar an der innern Seite der Pfahlreihen eine etwas vertiefte Rinne auszubaggern, deren Sohle möglichst eben ist. Die Tafeln werden, wie Fig. 232 zeigt, auf der innern Seite durch aufgenagelte Leisten verbunden, man muſs aber dafür sorgen, daſs die Stöſse zwischen je zwei Tafeln jederzeit auf Pfähle treffen und beide Enden sich noch sicher an diese lehnen. Um den Stoſs zwischen beiden Tafeln besser zu dichten und um zugleich ein Aufheben oder Umschlagen derselben zu verhindern, rammt man auch wohl über den Stoſs noch eine Bohle, wodurch die Tafeln an ihren Enden sicher gehalten werden.

Diese Anordnung läſst sich nur so lange anwenden, als der Wasserdruck nicht bedeutend ist; wenn derselbe gröſser wird, so kann man in vielen Fällen noch von den Stülpwänden vortheilhaft Gebrauch machen. Bei diesen schlieſst sich jede einzelne Bohle an die Unebenheiten des Grundes an und läſst sich in einen weichen Boden leicht eintreiben. Die erste Reihe der Bohlen er-

hält durch die zweite, welche die Fugen verdeckt, noch eine bedeutende Verstärkung und sonach darf man bei niedrigen Fangedämmen nicht besorgen, dafs die Bohlen sich ausbauchen. Bei gröfserer Höhe des Fangedammes mufs man durch Anbringung besonderer Riegel dafür sorgen, dafs die Bretterwände nicht zu stark durchbiegen und zu weite Fugen sich öffnen. Wenn gerade recht niedriges Wasser zur Zeit der Ausführung des Fangedammes stattfindet und die Wassertiefe nicht grofs ist, so genügt es, in der Höhe des Wasserspiegels noch eine Bohle oder ein Stück Halbholz gegen die Pfähle zu nageln, im entgegengesetzten Falle läfst sich ein solcher Riegel auch mittelst aufgenagelter Latten leicht bis zu jeder beliebigen Tiefe herabschieben und im Wasser erhalten. Indem es hierbei auf eine geringe Differenz in der Höhe nicht ankommt, so dürfen die Stöfse zwischen diesen Riegeln nicht gerade auf die Pfähle treffen, sondern es ist besser, ihnen dadurch eine sichere Haltung zu geben, dafs man sie noch über die Pfähle vortreten und gegenseitig an einander vorbeischiefsen läfst, so dafs sie eine etwas geneigte Lage erhalten. Wenn jedoch die Holme mit der innern Seite der Pfahlreihe bündig verlegt sind und man gegen diese wieder die Stülpwand lehnen wollte, welche weiter unterhalb um die Breite des vorgeschobenen Riegels von der Pfahlwand entfernt gehalten wird, so würde der Fangedamm unten schmaler als oben sein. Um dieses zu vermeiden, mufs man vor dem Holme oder wenig darunter noch einen zweiten Riegel von derselben Stärke, wie den untern, anbringen und beide als Lehren beim Einrammen der Stülpwand benutzen.

Wird endlich der Fangedamm etwa 12 Fufs hoch oder darüber, so mufs man zu seiner Verkleidung und namentlich auf der innern Seite, wo er nicht nur den Druck der eingeschütteten und festgestampften Erde, sondern aufserdem auch den des äufsern Wassers auszuhalten hat, eine Spundwand wählen. Bei derselben vermeidet man viel sicherer alle weit geöffnete Fugen, die sonst leicht bei tiefem Wasser vorkommen, aufserdem aber besitzt die Spundwand auch grofse Steifigkeit, und wenn vielleicht in ihr ein geringes Einbiegen eintreten sollte, so wird dieses nicht mehr in den einzelnen Bohlen stattfinden, sondern sich auf gröfsere Theile der Wand erstrecken und sonach kein nachtheiliges Oeffnen der Fugen zur Folge haben. Endlich ist noch die Anbringung der Spundwände,

und zwar auf beiden Seiten eines Fangedammes, insofern von Wichtigkeit, als dieselben mehrere Fufs tief im Boden stecken und man zwischen ihnen den Grund ausbaggern nnd auf solche Art den Fangedamm bis unter das natürliche Bett herabführen kann. Dieses Verfahren trägt bei einem kiesigen Grunde wesentlich zur Verminderung des Wasserzudranges bei, indem die Spundwand den Grund neben sich comprimirt und die Wasseradern sperrt. Bei sehr hohen Fangedämmen kann es indessen auch für die Spundwand noch bedenklich sein, ihr keine Unterstützung unterhalb des Holmes zu geben, und aufserdem wird das Einrammen derselben nicht ganz sicher, wenn die Zwinge weit über dem Boden sich befindet.

Perronet wandte zur Vermeidung dieser Uebelstände beim Bau der Brücke zu Neuilly ein Mittel an, welches eine nähere Beschreibung verdient. Fig. 233 zeigt den Querschnitt des daselbst benutzten Fangedammes und man bemerkt, dafs jede Spundwand von zwei doppelten Zwingen umfafst wird, von denen die untere mehr als 3 Fufs tief unter dem niedrigsten Wasserstande (der in der Figur angedeutet ist) sich befindet. Der Fangedamm besteht aus zwei Pfahlreihen, die von Mitte zu Mitte 10 Fufs von einander entfernt sind, und der Abstand der einzelnen Pfähle in jeder Reihe beträgt 4 Fufs. Die Pfähle hatte man unten bebrannt. In der Höhe von 5 Fufs 6 Zoll über dem niedrigsten Wasserstande sind auswärts an jede Pfahlreihe Rahmen genagelt, die 6 Zoll hoch und eben so stark sind. In den Stöfsen, die immer gegen die Pfähle treffen, greifen diese Rahmen mit 14 Zoll langen Blättern über einander. Auf diesen liegen die Zangen, die 8 Zoll hoch und 15 Fufs lang sind. An den Stellen, wo letztere die Rahmen kreuzen, sind sie 3 Zoll tief eingeschnitten, die Rahmen selbst haben aber auch hier ihre volle Stärke. Die Spundwände, welche gegen die Pfahlreihen gestellt werden sollten, bestanden aus einzelnen Theilen, von denen jeder 12 Fufs lang war und in folgender Art zusammengesetzt wurde. Indem man die beiden Paare der Zwingen und die beiden äufsern Spundpfähle durch Schraubenbolzen verband, so bildete sich ein verschiebbares Parallelogramm. Diese Spundpfähle, sowie alle übrigen, waren 4 Zoll stark und 21 Fufs lang, die Zwingen bestanden aus 4zölligen Bohlen von 9 Zoll Breite, hatten aber nicht die volle Länge von 12 Fufs, um sich nicht

gegenseitig zu berühren. Beim Zusammensetzen der Zwingen wurden die sämmtlichen zugehörigen Spundbohlen eingepafst. Man machte alsdann mit dem Einrammen der beiden äufsern Spundpfähle den Anfang, welche durch die angebolzten Zwingen mit einander verbunden waren, und daher sowohl oben als unten den bestimmten Abstand behielten. Man sorgte auch dafür, dafs die Enden der Zwingen sich gegen die Pfähle lehnten. Sobald auf diese Art eine Zwinge festgestellt war, so wurden die eingepafsten Spundpfähle hineingeschoben und eingerammt, man nahm jedoch darauf Rücksicht, dafs die mittleren am spätesten bis zur vollen Tiefe herabgeschlagen wurden, damit die äufsern weniger stark angegriffen und nicht etwa durch die Bolzen gespaltet werden möchten. Endlich blieb noch der Raum zwischen je zwei solchen Rahmen auszufüllen und dieses geschah, indem man passende Spundpfähle auch hier einrammte. Die letzten wurden gleichfalls durch die Zwingen gefafst, denn jede derselben trat noch einige Zoll weit vor und diente sonach zur sichern Führung des zuletzt eingebrachten Spundpfahles. Fig. 234 zeigt diese Anordnung. Zwischen den Spundwänden wurde der sandige und leichte Boden so tief ausgebaggert, bis man auf eine feste Erde kam, durch welche keine Filtration zu besorgen war.

Wenn der Fangedamm eine grofse Höhe hat und sonach auch sehr breit werden müfste, so gewährt die beschriebene Anordnung nicht mehr die nöthige Sicherheit, indem bei dem vermehrten Drucke des Wassers ein Durchquellen leichter eintreten kann. Man mufs daher eine Einrichtung wählen, wodurch die beim Füllen des Dammes vielleicht gebildeten undichten Stellen noch unterbrochen werden. Der sicherste Schlufs erfolgt vor einer dichten Wand, wenn die eingeschüttete und angerammte Erde sich in der Richtung des Wasserdruckes dagegen lehnt. Bei der beschriebenen Constructionsart geschieht dieses nur einmal, und dieses ist bei höheren Fangedämmen um so weniger genügend, als man in der gröfseren Tiefe nicht mehr auf die compacte Ablagerung der Erde hinwirken kann. Aus diesem Grunde trennt man den Damm der Breite nach in zwei, auch wohl in drei Theile. Es tritt hierbei noch der Vortheil ein, dafs für den obern Theil die halbe Stärke schon genügt und der eine Kasten nur etwa halb so hoch zu sein braucht. Will man ihm aber diese geringere Höhe geben, so mufs man den Wasserspiegel schon gesenkt haben, und hieraus folgt wieder, dafs

dieser niedrigere Theil auf der innern Seite des Dammes oder an der Baugrube sich befinden mufs. Man kann ihn alsdann auf dieselbe Art, wie ein Banket, in der abgestochenen Erdwand zum Aufstellen mancher Utensilien und Materialien und zur Erleichterung der Communication benutzen. Fig. 236 zeigt eine solche Anordnung. Man macht damit den Anfang, dafs man einen gewöhnlichen Fangedamm, jedoch nur von der halben Breite, die er seiner Höhe nach erhalten sollte, ausführt. Alsdann werden die Schöpfmaschinen in Thätigkeit gesetzt, und sobald der Wasserspiegel bis zur Höhe des nächstfolgenden Theiles des Dammes gesunken ist, so wird dieser genau in derselben Art, wie der erste, ausgeführt. Es tritt in der Construction nur die Aenderung ein, dafs man, um die innere Pfahlreihe des ersten Theiles wieder zu benutzen, die Zangen über dem zweiten Theile mit schwalbenschwanzförmigen Zapfen in jene Pfähle eingreifen läfst und mit Bolzen daran befestigt. Eine Strebe, die man zwischen jede solche Zange und den zugehörigen Pfahl mit Versatzung eintreibt, giebt noch eine kräftige Stütze gegen den Wasserdruck.

Bei solchen getheilten Fangedämmen beträgt die Höhe jeder Stufe 8 bis 12 Fufs. Indem man die Breite des Dammes in seiner Grundfläche nur so grofs macht, als oben angegeben ist, so tritt hierbei eine merkliche Verminderung des Quantums an Erde ein, welche man zur Füllung braucht. In manchen Fällen mag dieser Vortheil beachtenswerth sein, doch wird er die Mehrkosten für die dritte Wand nicht decken und sonach darf man nicht hoffen, auf diese Art den ganzen Fangedamm wohlfeiler darzustellen.

Die Fangedämme, die man in England ausführt, erhalten in dem Falle, wo sie sich bis über die höchsten Fluthen erheben, eine sehr grofse Höhe und ihre Construction wird dadurch zwar schwierig, aber nichts desto weniger tritt auch wieder die Erleichterung ein, dafs man zur Zeit der Ebben auch an ihrem untern Theile manche Verstärkung anbringen kann, welche sonst unausführbar wäre. Ein andrer Vortheil, der aus dem abwechselnden Wasserstande entspringt, bezieht sich darauf, dafs man die Füllungserde nicht in grofser Höhe aufschütten darf, bevor man sie anstampfen kann, sondern das Abrammen schon beginnt, sobald die Schüttung die Höhe des niedrigen Wasserstandes erreicht. Schon früher wurde bemerkt, dafs man bei diesen Fangedämmen nicht Spundwände, sondern

dichte Pfahlwände ohne Spundung anwendet, gewöhnlich fehlt aber auch die davorstehende verholmte Pfahlreihe, wenn dieselbe nicht etwa zum regelmäfsigen Einrammen der dichten Wand beibehalten wird. Auch die hölzernen Zangen kommen bei diesen gröfseren Fangedämmen nicht vor, ihre Stelle vertreten aber eine Menge eiserner Bolzen, die nicht nur oben, sondern in mehrfachen Reihen so weit abwärts sich erstrecken, als man zur Zeit der niedrigsten Ebben sie einziehn kann.

Um ein Beispiel von der Anordnung eines solchen Fangedammes zu geben, wähle ich dasjenige, welches Hughes in der Abhandlung über die Fundirung der Brücken *) anführt. Dasselbe eignet sich auch insofern zur Mittheilung, als die Details dabei genau angegeben sind und der Verfasser als Entrepreneur mancher grofsen Bauten Gelegenheit hatte, sich mit den Erfordernissen eines Fangedammes genau bekannt zu machen. Fig. 237 zeigt im Querschnitte den Fangedamm, der von beiden Seiten die Baugrube umgiebt, in welcher ein Brückenpfeiler auf dem natürlichen festen Grunde erbaut werden soll. Es wird angenommen, dafs dieser Grund, welcher das Wasser nicht stark durchsickern läfst, auf 12 Fufs Höhe mit grobem Kiese bedeckt ist, der sowohl aus der Baugrube, als auch aus den Fangedämmen entfernt werden mufs, um das Eindringen starker Quellen zu verhindern. Die Wassertiefe über dem Kieslager mifst bei Hochwasser 28, bei Niedrigwasser aber 10 Fufs, so dafs der feste Grund, in welchen die Pfähle eindringen müssen, 40 Fufs unter Hochwasser liegt. Hiernach bestimmt sich die Länge der Pfähle für die dichten Pfahlwände, welche den höchsten Theil des Fangedammes einschliefsen sollen, auf 48 Fufs, indem sie noch 3 Fufs über die Fluthhöhe herausragen und 5 Fufs im festen Grunde stehn sollen. Der Fangedamm wird in drei Abtheilungen zerlegt, zu deren Darstellung vier dichte Pfahlreihen erforderlich sind. Die beiden mittleren sind die höchsten, die äufsere erhebt sich bis 1 Fufs über Niedrigwasser und die innere bis 11 Fufs über denselben Wasserstand. Die lichte Entfernung aller Wände unter sich beträgt 6 Fufs und die Stärke der beiden mittleren ist 12 Zoll, die der innern 8 Zoll und der äufsern 6 Zoll. Alles Holz soll gerade gewachsen sein und aus der besten Sorte Memeler Balken, also

*) *Theory, practice and architecture of bridges. Sect. V. p. 46.*

Kiefern, bestehn. Die beiden innern Wände werden oben zu beiden Seiten mit Zangen versehn von 6 Zoll Stärke und 12 Zoll Höhe und durch eiserne Bolzen von 1¼ Zoll Stärke mit einander verbunden Die Bolzen haben Köpfe von 3 Zoll im Gevierten und 1 Zoll Dicke und auf der andern Seite muſs jedesmal ein scharfes Schraubengewinde eingeschnitten sein, worauf eine Mutter paſst, welche dieselben Dimensionen, wie der Kopf hat. Unter jeder Mutter liegt eine Scheibe. Solche Verbindungsbolzen müssen alle 4 Fuſs angebracht sein, sie liegen aber in drei Reihen unter einander und umfassen in der zweiten Reihe drei Wände und in der untersten alle vier Wände. Das Ausbaggern der obern Kiesschicht soll noch vor dem Beginne der Rammarbeit vorgenommen werden, indem diese dadurch wesentlich erleichtert wird.

Die Figur zeigt noch die Absteifungen der beiden Fangedämme gegen einander und gegen den bereits fertigen Theil des Brückenpfeilers. Bei der von Telford ausgeführten Eingangsschleuse in St. Katharine's Dock in London wurde ein Fangedamm benutzt, der dem beschriebenen sehr ähnlich war und gleichfalls aus drei Abtheilungen bestand. Die Absteifungen kamen auch hier vor, obgleich die Schleuse auf einem Pfahlrost erbaut ist.*)

Eine solche Absteifung ist indessen nicht leicht anzubringen, wenn Pfähle eingerammt werden sollen, weil das Versetzen der Ramme dadurch sehr erschwert wird. Am leichtesten ist es, in diesem Falle den Fangedamm so weit herauszurücken, daſs die Steifen noch dahinter Platz finden. In solcher Art wurde beim Bau des neuen Parlamentshauses in London der eigentliche Fangedamm so weit vor das Fundament in das Fluſsbette herausgeschoben, daſs zwischen beiden ein Raum von 25 Fuſs Breite frei blieb. Dieser Fangedamm bestand nur aus einer einzigen Abtheilung, die jedoch auf ähnliche Art, wie eben erwähnt, ausgeführt wurde. Die Breite der Thonschüttung betrug nur 5 Fuſs, aber ihre Höhe über dem natürlichen Bette 21 Fuſs, und sie erstreckte sich noch 9 Fuſs darunter, indem vor dem Beginne der Rammarbeit so tief gebaggert war. Der Fangedamm hatte indessen hier noch auf andere Art eine wesentliche Verstärkung erhalten, denn zunächst umgab ihn auf der innern, sowie auch auf der äuſsern Seite eine Pfahlreihe,

*) *The Civil Engineer and Architect's Journal. II. p. 430 ff.*

worin die Pfähle 6 Fuſs von Mittel zu Mittel entfernt waren und diese wurde gleichfalls durch drei Reihen Bolzen gehalten. Auf der innern Seite lehnte sich an diese Pfähle eine Verstrebung, welche von einer fünften Pfahlreihe, die 20 Fuſs hinter dem Fangedamme stand, getragen wurde.*)

Beim Bau der neuen London-Brücke bestand der 35 Fuſs hohe Fangedamm aus zwei Abtheilungen von gleicher Höhe, welche wieder durch drei dichte Pfahlwände umschlossen wurden. Die äuſsere Abtheilung hatte eine lichte Breite von 6 Fuſs und die innere von 5 Fuſs, die Wände waren unter sich mehrfach nicht nur durch eiserne Bolzen, sondern auch durch Spannriegel verbunden. Eine sehr feste Verstrebung aus vielen Verbandstücken zusammengesetzt, worunter sich auch zwei Reihen horizontaler doppelter Balken befanden, erstreckte sich etwa 120 Fuſs rückwärts.**) Dieselben wurden nach und nach entfernt, sobald sie der Aufführung des Pfeilers hinderlich wurden, sie konnten alsdann durch kürzere Streben, welche sich gegen das fertige Mauerwerk lehnten, ersetzt werden. Ein wichtiges Beispiel einer ähnlichen Verstrebung ist auch in Venedig vorgekommen, als man daselbst im Jahre 1808, um den Hafen für Kriegsschiffe brauchbar zu machen, durch das Bassin *Novissima grande* einen Fangedamm schlug***) und diesen gegen die 120 Fuſs entfernten Mauern und Gebäude lehnte. Die Streben bestanden aus den gröſsten Stämmen der Edeltanne, die dort unter dem Namen Albec zu Masten benutzt werden, sie haben mitunter eine Länge von 127 Fuſs, und sind am Stammende 3 bis 4½ Fuſs stark.

Beim Bau des Docks zu Great-Grimsby wurde der über 1600 Fuſs lange Fangedamm in einem flachen Bogen vor die Baustelle gelegt, wodurch er an sich schon eine bedeutende Verstärkung erhielt. Indem er sich jedoch 22 Fuſs über den Grund erhob und einem Wasserdrucke von derselben Höhe widerstehn sollte, so waren bei seiner Anlage noch besondere Vorsichts-Maaſsregeln nothwendig. Seine Breite beträgt zwischen den äuſsern Balkenwänden oben 14 Fuſs, unten war sie aber noch etwas gröſser,

---

*) *The Civil Engineer and Architect's Journal. I.* p. 31.

**) *Practical treatise on bridge-building by Cresy.*

***) *Nouvelle Collection de dessins etc.*

indem die seeseitige Wand schräge stand. In der Mitte zwischen den aus starken Balken bestehenden Wänden befand sich noch eine dritte, die man jedoch zu beiden Seiten nicht durch hölzerne Zangen, sondern durch starke Schienen verbunden hatte, damit die Füllungserde frei herabsinken konnte. Eine wesentliche Verstärkung erhielt der Damm aber noch durch Querwände von gleicher Construction, die in Abständen von 25 Fufs 17 Fufs weit wie Strebepfeiler in die Baugrube traten, und durch kräftige Verstrebungen auch die zwischen liegenden Theile des Dammes stützten. Um sich zu überzeugen ob der Damm unbeweglich stand, waren zwischen diesen Querwänden auf isolirt stehenden Pfählen Maafsstäbe angebracht, woran ein sehr geringes Ueberweichen schon bemerkt werden konnte. *)

Wenn der Baugrund bis zu einer grofsen Tiefe aus weichem Schlamm besteht, in welchem die Pfähle keinen sichern Stand annehmen, so wird die Anlage von Fangedämmen sehr schwierig, indem diese durch den Wasserdruck in die Baustelle hineingedrängt werden. Ein solcher Fall ereignete sich in Holland, als man die Eingangsschleusen zu den Hafenbassins vor Amsterdam erbaute**), und das Mittel, welches man dagegen anwandte, bezog sich nur darauf, den Grund durch starke Belastung zu comprimiren.

Zuweilen kann man die Fangedämme nicht mit dem Grunde, auf welchem sie stehn, in gehörige Verbindung setzen, weil das Einrammen von Pfählen entweder wegen der grofsen Tiefe oder wegen des unreinen und felsigen Bodens nicht möglich wird. Ein interessantes Beispiel dieser Art war der Fangedamm, welcher bei der Aussprengung des Vorhafens für den Kriegshafen zu Cherbourg die Mündung desselben gegen die See schlofs. Diese Mündung traf auf eine Stelle, wo das natürliche Ufer zurücktrat und die erforderliche Wassertiefe schon vorhanden war. Die beiden Hafendämme, welche auf der Nord- und Südseite sie begrenzen, bestehn grofsentheils nur aus den Steinen, welche bei den Sprengungsarbeiten gewonnen waren. Der Fangedamm, der schon zur Zeit des niedrigsten Wasserstandes einem Drucke von 30 Fufs Widerstand leisten

---

*) Förster's allgemeine Bauzeitung. 1850. S. 2.

**) Henz, der Hafen von Amsterdam; in den Verhandlungen des Gewerbevereins 1832. S. 172.

sollte, bestand in einem grofsen gezimmerten Kasten, dessen Länge mit der Breite der Mündung übereinstimmte und 142 Fufs betrug. Derselbe war am Boden 84 Fufs, oben 44 Fufs breit, und seine Höhe maas 45 Fufs. Er bestand nur aus einer vordern und einer hintern Wand, Boden und Seitenwände fehlten ihm, damit die eingeschüttete Erde alle Unebenheiten, die sie berührte, ausfüllen und sich mit dem Grunde und mit den Dossirungen der Hafendämme verbinden konnte. Man hielt indessen diese Kasten allein nicht für ausreichend, um dem Drucke des Wassers und dem Wellenschlage gehörigen Widerstand zu leisten, daher schüttete man an die innere Seite noch eine Erddossirung von etwa 45 Fufs Breite, deren Fufs sich an eine verstrebte dichte Holzwand lehnte. *)

Aehnliche grofse und fest verbundene Holzkasten, die wieder nur aus zwei Seitenwänden bestanden, wurden zur Bildung der Fangedämme für den Bau der Victoria-Brücke in Canada benutzt, indem man sie in den St. Lorenz Strom versenkte.

In andern Fällen, wo Fangedämme auf Felsboden erbaut sind, hat man sie dadurch gegen das Verschieben gesichert, dafs Bohrlöcher in den Grund getrieben und eiserne Stangen darin gestellt wurden. Dieses Verfahren ist z. B. beim Bau der Schleuse zu Corpach, welche auf der westlichen Seite den Eingang in den Caledonischen Canal bildet, angewendet worden. Dasselbe ist bei Kösen geschehn, als man die Futtermauer auf eine grofse Länge in das Bett der Saale stellte, um den Damm der Thüringer Eisenbahn dagegen zu lehnen.

Bei den Schleusen- und Wehrbauten an der Saar in der Nähe von Saarbrücken war der Felsboden, der unter dem Wasserspiegel ausgebrochen und zu diesem Zweck mit Fangedämmen umgeben werden mufste, ein so weicher bunter Sandstein, dafs man zugeschärfte eiserne Stangen von 18 bis 21 Linien Durchmesser 1 bis 2 Fufs tief eintreiben konnte. Man versah dieselben, wenn das Gebirge härter war, mit Stahlspitzen. Diese Stangen, welche die Stelle der hölzernen Pfähle vertraten, wurden im gegenseitigen Abstande von 2½ Fufs eingetrieben, die beiden Reihen derselben waren aber 3½ Fufs entfernt. An die innern Seiten dieser Reihen lehnten

*) In der dritten Ausgabe von Sganzin's *programme* ist ein Querschnitt dieses Fangedammes mitgetheilt.

sich Bretterwände. Eine solche wurde zunächst gebildet durch zwei vertikale Bretter die oben durch Schraubenbolzen mit doppelten Leisten verbunden waren. Zwischen diese Leisten stellte man alsdann die einzelnen vertikalen Bretter, und trieb sie fest gegen den Boden, eben so auch diejenigen, welche den Raum zwischen je zwei solchen Rahmen schlossen, und welche durch die von beiden Seiten vortretenden Enden der Leisten noch gehalten wurden. Bevor man aber den Fangedamm mit Erde füllte, verband man die sämmtlichen Eisenstangen mittelst ausgeglühter starker Drähte über den Bretterwänden mit den gegenüberstehenden. Diese Fangedämme waren einem Wasserdrucke von etwa 4 Fuſs ausgesetzt.*) Es mag noch hinzugefügt werden, daſs man nach Erbauung des obersten Nadelwehres innerhalb des preuſsischen Gebietes mehrfach Gelegenheit hatte, die Anlage der Fangedämme ganz zu umgehn. Indem man nämlich bei dem damals sehr niedrigen Wasserstande und der trocknen Witterung dieses Wehr vollständig schloſs, so senkte sich das Unterwasser so sehr, daſs man die hinderlichen Felsen ohne Weiteres beseitigen konnte.

Wenn ein Fangedamm sich an höheres Ufer anschlieſst, so muſs er in dasselbe eingreifen, damit zwischen beiden das Wasser nicht hindurchdringt. Der Anschluſs eines Fangedammes aber an Felsen oder Mauern, so wie überhaupt an fremdartige Körper, welche sich mit der Erde nicht innig verbinden, giebt leicht Veranlassung zum Durchquellen des Wassers. Um diese Besorgniſs zu entfernen, muſs man in solchem Falle die Breite des Dammes vergröſsern, damit die Berührung, wenn sie auch nicht so innig ist, doch auf eine gröſsere Fläche sich ausdehnt. Ferner ist es vortheilhaft, die Fläche möglichst uneben zu machen, auch wendet man in solchem Falle zuweilen anderes Material, als Erde an, namentlich Mist, der am Steine fester haftet. Auch stöſst man zuweilen Latten, die mit Stroh umwunden sind, in die Ecken des Fangedammes neben Mauern oder an steilen Felsen ein. Beim Bau der Brücke zu Moulins über den Allier führte Régemortes über dem Bohlenboden, den er versenkt hatte, noch einen Fangedamm auf, um das Wasserschöpfen nicht über die ganze Baugrube ausdehnen zu dürfen. Dieser Fangedamm bestand aus hölzernen Kasten, deren Boden mit eingehauenen

*) In Erbkams Zeitschrift für Bauwesen. 1866. L. Hagen: die Canalisirung der obern Saar. S. 49.

Furchen versehn waren und die man auf eine eingeschüttete Thonlage stellte.

In ähnlicher Art, wie in dem Anschlusse gegen fremdartige Körper, pflegt die Füllerde auch in den scharfen Ecken eines Fangedammes eine lockere Lage zu behalten, da wegen der vielfachen Berührung mit den Wänden ein gehöriges Setzen hier nicht erfolgen kann. Man mufs daher plötzliche Unterbrechungen in der Richtung der Fangedämme möglichst vermeiden, und die etwa vorkommenden spitzen Winkel in mehrere stumpfe zerlegen, oder noch besser, wie in England gewöhnlich geschieht, den Uebergang aus einer Richtung in die andere durch eine Curve mit möglichst grofsem Radius vermitteln.

Es bleibt noch zu untersuchen, wie man einen Fangedamm wasserdicht macht. Eine einfache Holzwand, mag sie aus Spundpfählen, oder aus scharf neben einander eingerammten Balken bestehn, läfst gewöhnlich so zahlreiche und weite Fugen offen, dafs die durch sie umschlossene Baugrube nicht trocken gelegt werden kann. Wenn dieses in sehr seltenen Fällen geglückt ist, so geschah es nur bei reinem Grunde und bei überaus vorsichtiger Arbeit. Zuweilen hat man versucht solche Wände dadurch zu dichten, dafs man auf ihrer äufsern Seite wasserdichte Leinwand herabrollte, die bei eintretendem Drucke sich fest anlegte. Beaudemoulin stellte hierüber Versuche an, und fand dafs man auf diese Art ganz sicher einen Wasserdruck von 4½ Fufs abhalten und zugleich das Durchsickern verhindern konnte. Er empfiehlt daher, hiervon Gebrauch zu machen, sobald man bemerkt, dafs die auf gewöhnliche Art construirten Fangedämme sehr undicht werden und stellenweise das Wasser stark durchlassen.

Die gewöhnliche, bereits beschriebene Construction der Fangedämme bietet Gelegenheit, den dichten Schlufs durch Erde darzustellen, die man zwischen die verschiedenen Holzwände schüttet. Man mufs dazu aber eine feine, recht gleichmäfsige Erdart wählen, welche gut bindet, ohne sich beim Einschütten in einen weichen Brei zu verwandeln und ohne Höhlungen zu lassen. Hauptbedingung ist es aber, dafs keine Holzstücke oder andre fremdartige Körper mit eingeworfen werden, oder vielleicht schon beim Bau des Fangedammes hineingebracht sind, denn neben diesen findet das Wasser immer einen leichten Durchgang. Bei den englischen Fange-

dämmen könnten die durchgezogenen Bolzen in dieser Beziehung auch als nachtheilig angesehn werden, doch haftet daran die Erde stärker, als an Holz, und ein Bolzen bietet wegen seiner geringen Dicke auch keine grofse Berührungsfläche. Alle diese Bolzen sind aber über dem niedrigen Wasser befindlich, und wo sie vorkommen, kann die Erdschüttung schon nachgerammt werden.

Gewöhnlich wird zäher Thon für das beste Material zur Füllung der Fangedämme gehalten, und wenn auch nicht bezweifelt werden kann, dafs diese Bodenart, wenn sie in dünnen Schichten von unten auf eingebracht und angestampft werden könnte, die Wasserdichtigkeit am sichersten darstellen würde, so treten ihrer Anwendung unter Wasser doch grofse Schwierigkeiten entgegen. Man darf den Thon nicht in sehr nassem Zustande benutzen, weil er sonst beim Einschütten vollends erweicht, und alsdann eine dicke Flüssigkeit bildet, die selbst durch die Fugen hindurchdringt. Man wirft ihn daher klumpenweise, wie er gestochen wird, in den Fangedamm. Hierdurch verhindert man seine dichte Ablagerung, für die man auch nicht früher sorgen kann, als bis man mit der Schüttung über Wasser gekommen ist. Man bemüht sich, dieses möglichst schnell zu erreichen, um das starke Aufweichen zu verhindern, liegt der Thon aber schon mehrere Fufs hoch, so wirkt die Handramme, oder die Stampfe, die man benutzt, nicht mehr bis zur ganzen Tiefe, und so können leicht bedeutende Höhlungen sich unten gebildet haben, die nicht zu beseitigen sind, und deren Vorhandensein man auch nicht früher bemerkt, als bis man beim Wasserschöpfen starke Quellen durch den Fangedamm hindurchdringen sieht. Es zeigt sich hierbei aber auch noch der zweite Uebelstand, dafs die Wasseradern, die sich zufällig in solchem Boden bilden, die feinen Thontheilchen, die sie berühren, aufnehmen und mit Leichtigkeit durch die engsten Fugen hindurchführen. Auf diese Art erweitern sich also die Adern immer mehr und die Zähigkeit des Thones ist Veranlassung, dafs die obere Decke eines solchen Canales nicht einstürzt. Man darf sonach, wenn die Ausfüllung in tiefem Wasser geschehn mufs, von der Anwendung eines recht steifen Thones keinen günstigen Erfolg erwarten, vielmehr bilden sich in demselben sogar noch stärkere Wasseradern, als in einer Sandschüttung. Schon Perronet erwähnt bei Gelegenheit des Baues der Brücke zu Neuilly, dafs der fette Thon zum Füllen der Fangedämme sich nicht eigne, weil er zu viele Höhlun-

gen bildet, die man selbst in dem Falle nicht beseitigen kann, wenn man ihn auch unter Wasser zu stampfen versucht, wogegen gewöhnliche Ackererde sehr brauchbar sei.

Beim Sande, den man oft als ganz untauglich zum Füllen der Fangedämme ansieht, können die erwähnten Uebelstände nicht eintreten, und wenn dabei einiges Durchsickern auch nie zu vermeiden ist, so ist man doch vor sehr starken Quellen gesichert. Wenn aber die innere Holzwand, wogegen der Sand sich lehnt, so dicht ist, dafs einzelne Sandkörnchen nicht hindurchdringen können, so lagern sie sich bei dem eintretenden Wasserdrucke und vermöge der geringen sich dabei bildenden Strömung noch um so fester gegen die Wand, und vermehren hierdurch den guten Schlufs. Es soll später bei Gelegenheit der Schiffahrtscanäle erwähnt werden, wie vortheilhaft man sowohl in Frankreich als auch in England feinen Sand benutzt hat, um das Durchsickern des Wassers zu verhindern. Es fehlt auch nicht an Beispielen, welche zeigen, dafs Fangedämme aus Sand das Wasser abzuhalten im Stande sind. So wurde beim Bau des Humber-Dock's in Hull, ein Fangedamm, der jedoch nur zur Zeit des Hochwassers in Wirksamkeit trat, zwischen den beiden dichten Pfahlwänden mit Ziegelmauerwerk gefüllt, wobei die Steine aber nicht in Mörtel, sondern nur in Sand versetzt waren. *)

In neuerer Zeit hat man mehrfach versucht, durch besondere Beimischungen die natürliche Erde, wie sie gerade in der Nähe zu haben ist, für die Füllung der Fangedämme geeigneter zu machen. So setzte man schon bei den Bauten am Canale St. Martin zu diesem Zwecke der sandigen Erde $\frac{1}{55}$ bis $\frac{1}{50}$ ihres Volumens an Kalk zu und beim Bau der Brücke du Sault über die Rhone wurde der sehr strenge Boden mit $\frac{1}{16}$ Kalkbrei vermengt und stark durchgearbeitet, bevor man damit den Fangedamm füllte. Hughes äufsert sich auch dahin, dafs der strenge Thon ohne Beimischung bei tiefem Wasser nicht angewendet werden darf, indem er sich nicht dicht ablagert, man ihm vielmehr noch andere Stoffe zusetzen mufs. Als eine sehr brauchbare Mischung zum Füllen der Fangedämme empfiehlt er drei Theile reinen Thon (*clay*), zwei Theile Kreide (*chalk*) und einen Theil Kies (*gravel*). Die beiden letzten Bestandtheile sollen bis zur Gröfse eines Hühner-Eies zerschlagen und durch sorg-

---

*) *Transactions of the Institution of Civil Engineers. I. p.* 15.

fältiges Umrühren vor dem Versenken mit dem Thon vermengt werden. Dabei wird noch bemerkt, daſs es in England üblich sei, den Fangedamm in der Krone einen Fuſs hoch in Ziegeln zu übermauern, Hughes meint jedoch, daſs man eine eben so feste und noch dichtere und zugleich wohlfeilere Decke darstellen kann, wenn man eine Bétonlage von recht grobem Kiese aufbringt.

Endlich sind noch die Mittel zu bezeichnen, die man in Anwendung bringen kann, sobald man bemerkt, daſs der Fangedamm seinen Zweck nicht erfüllt und groſse Wassermassen durchläſst. Indem er auf der innern Seite bequem zugänglich ist, so versucht man häufig hier die Fugen zu stopfen, durch welche man das Wasser austreten sieht, doch gelingt dieses fast niemals, denn wenn die Adern schon durch den ganzen Damm bis gegen die innere Seitenfläche gedrungen sind, so bilden sie sich, sobald ein Ausweg hier verstopft wird, sogleich einen andern in der Nähe. Wenn der Leck gedichtet werden soll, so kann dieses nur auf der äuſsern Seite oder im Innern des Dammes geschehn. Von auſsen verhindert indessen der Wasserstand einen solchen Versuch, und es bleibt nur übrig, Gegenstände zu versenken, die vielleicht durch die hindurchdringende Wasserader gefaſst und vor die Oeffnung geführt werden. Zu diesem Zwecke eignet sich besonders wasserdichte Leinwand, wie bereits erwähnt wurde, auch gelingt es zuweilen, davorgeschütteten Mist, mit Stroh vermengt, in die Oeffnung hereinzuziehn und selbige dadurch zu sperren. Das Verfahren, das aber in ähnlichen Fällen bei Canälen mit überraschendem Erfolge angewendet ist, läſst auch für die Dichtung der Fangedämme in manchen Fällen dieselbe Wirkung erwarten. Man schüttet nämlich feinen Sand in das Wasser vor die Stelle, wo man die Wasseradern vermuthet, die einzelnen Sandkörnchen sinken langsam zu Boden und folgen daher jeder Seitenbewegung des Wassers. Auf solche Art werden sie zum Theil auch in den Fangedamm hineingezogen und finden hier leicht ein Hinderniſs, welches sie zurückhält. So kann es geschehn, daſs ein Körnchen sich an das andere lagert, bis zuletzt die Ader gesperrt ist. Die geringe Mühe, womit ein solcher Versuch sich anstellen läſst, dürfte ihn rechtfertigen, wenn das Gelingen desselben auch weniger wahrscheinlich ist, als bei einem Canale, wo die Wasserader durch einen längeren Weg sich hindurchziehn muſs und daher solche zufällige Hindernisse für die einzelnen Sandkörnchen eher

eintreten. Gewöhnlich bemüht man sich, eine undichte Stelle im Fangedamme dadurch zu verbessern, dafs man die entstandene Höhlung im Innern zu beseitigen sucht. Man rammt die schadhafte Stelle fest an, und wenn dieses nichts hilft, so gräbt man die Erdschüttung so tief auf, als der Wasserstand es erlaubt und wendet alsdann wieder die Ramme an, oder man baggert auch die Erde aus und füllt die Stelle ganz neu. Hierbei mufs man natürlich die Baugrube voll Wasser laufen lassen, denn wenn die Strömung während dieser Arbeit immer hindurchginge, so würde die Sperrung der Ader um so weniger zu erwarten sein.

Indem auf kiesigem oder sandigem Untergrunde das Wasser nicht nur von der Seite, sondern auch durch den Boden in die Baugrube dringt, so hat man zuweilen die ganze Sohle der letzteren zu überdecken versucht. Man nannte dieses einen Grund-Fangedamm. Ein solcher ist am sichersten durch eine Bétonschüttung darzustellen, doch wird hiervon erst später die Rede sein.

Beim Bau der Brücke zu Moulins über den Allier führte Régemortes eine Ueberdeckung mit Thon aus, die ihren Zweck auch genügend erfüllte. Das Flufsbette bestand aus feinem Sande und die Bohrungen zeigten, dafs dieser wenigstens auf 47 Fufs Tiefe herabreichte. Die Brücke, welche Hardouin Mansard daselbst im Jahre 1705 erbaut hatte, war wenige Jahre später bei einer Fluth eingestürzt und die Veranlassung dazu lag in den tiefen Auskolkungen, die sich neben den Brückenpfeilern bildeten, deren Wirkung man aber nicht durch eine tiefere Fundirung vorgebeugt hatte, weil kein Pfahl weiter als höchstens bis anf 15 Fufs eingerammt werden konnte. Régemortes stellte sich daher die Aufgabe, das ganze Flufsbette unter der Brücke zu befestigen, und dadurch jede Auskolkung zu verhindern. Um dieses zu bewirken, war eine wasserfreie Baugrube nothwendig. Ob solche sich darstellen liefs, sollte ein Versuch neben dem Ufer des Flusses entscheiden. Es wurde eine Grube von 42 Fufs Länge und Breite ausgehoben, mit Pfahlreihen und Spundwänden eingefafst und alsdann bis 6 Fufs unter den Sommerwasserstand ausgebaggert, darauf stellte man zwei Kettenpumpen ein, doch konnte man mittelst derselben das Wasser nur um 15 Zoll senken. Nunmehr wurde ein Fangedamm aus Erde rings herum angebracht, so dafs die Grube nur noch 30 Fufs in der Seite maafs, dieselben Schöpfmaschinen senkten darauf das Wasser Anfangs 4 Fufs,

doch bald fing es wieder an zu steigen und liefs sich nicht tiefer als bis auf 18 Zoll unter das Wasser des Flusses senken. Das anfänglich tiefere Herabsinken schien von den Erdtheilchen herzurühren, die sich beim Schütten der Fangedämme gelöst hatten und auf die Sohle niedergefallen waren. Darauf wurde die Sohle 4 Zoll hoch mit Erde bedeckt und nunmehr gelang es, das Wasser sehr schnell bis auf 5 Fufs zu senken, doch hob es sich nach und nach und stieg während des Pumpens zuletzt wieder auf 18 Zoll unter das Niveau des Flusses.

Dieser Versuch entschied für das Project, den Boden mit Thon zu bedecken, aber zugleich durch eine andere Beschwerung zu verhindern, dafs der Thon nicht aufgespühlt werden konnte. Zuerst wurden fünf Reihen Spundpfähle eingerammt, nämlich zwei derselben oberhalb der Brücke und drei unterhalb. Sie erstreckten sich von einem Ufer bis zum andern, und die zweite und dritte Spundwand trafen auf die Ecken der Pfeilerköpfe. Alle vier Räume zwischen den Spundwänden sollten überdeckt werden. Man baggerte sie zuerst bis zu der erforderlichen Tiefe aus und da sich auf diese Art noch nicht ein so ebner Grund darstellte, als zur Aufbringung der Thondecke nöthig war, so wurde noch eine besondere Ausgleichung desselben durch Abstreifen vorgenommen. Eine hölzerne Schiene wurde nämlich an ein Fahrzeug befestigt und konnte so gerichtet werden, dafs ihr unterer Rand horizontal und in jede beliebige Tiefe zu stellen war. Sobald man das Fahrzeug durch Winden vorwärts bewegte, so strich die Schiene längs dem Boden und ebnete ihn.

Hierauf erfolgte die Versenkung des Thones. Ein Rahmen von 13 Fufs Breite und 60 Fufs Länge schwebte zwischen zwei Fahrzeugen. In denselben war eine grofse Anzahl prismatischer Stäbe eingesetzt, die oben in scharfe Kanten ausliefen, wie die schraffirten Durchschnitte in Fig. 238 auf Taf. XVIII zeigen. Sie liefsen zwischen sich Oeffnungen von 8 Zoll Breite, welche durch Klappen geschlossen werden konnten. In *a* sieht man diese Klappen geschlossen, in *b* dagegen geöffnet. *B* ist in beiden Figuren ein Theil des Rahmens und *A* einer von den zehn Hebeln, welche mittelst der daran befestigten Leisten *C* die Klappen schlossen und in dieser Lage (wie in *a*) erhielten, während nahe trockner und in kleine Stücke zerschlagener Thon 1 Fufs hoch darüber geschüttet wurde.

Um denselben gleichmäfsig über den Rahmen zu verbreiten, waren die 5 Hebel an jeder Seite auch über ihren Drehepunkten durch Leisten E unter sich verbunden. Letztere legten sich, sobald die Klappen geschlossen wurden, auf den Rahmen, und dienten alsdann als Lehren für das Lineal, womit man den Thon ebnete und abstrich. Wenn man nach diesen Vorbereitungen die vortretenden Hebelarme aufhob, so öffneten sich alle Klappen und die darauf lagernde Thonmasse stürzte sehr gleichmäfsig auf die Sohle der Baugrube herab. Der Rahmen wurde alsdann um seine Breite verschoben, und sonach schlofs sich die folgende Beschüttung unmittelbar an die erste an.

War diese Arbeit vollendet, so erfolgte die Ueberdeckung der Thonschicht mittelst Tafeln von 12 Fufs Länge und 12 Fufs Breite, die aus $\frac{3}{4}$zölligen Dielen durch übergenagelte Leisten zusammengesetzt waren. Alle Tafeln, welche neben den Spundwänden zu liegen kamen, wurden an der Seite, wo sie diese berührten, nach deren Form genau zugeschnitten. Eine Latte, welche unten mit einem Vorsprunge versehn war, womit sie die Spundwand berührte, wurde in senkrechter Stellung neben der Wand hingezogen. Dieselbe bezeichnete durch ihre Ausweichungen alle Unebenheiten der Wand, die in der daneben zu versenkenden Tafel gleichfalls dargestellt wurden. Das regelmäfsige Versenken der Tafeln geschah, indem auf die Ecken jeder derselben eine Leitschiene aufgeschroben war, die bei der Versenkung der Tafel schon benutzt wurde, um letztere herabzulassen. An diese Leitschienen liefsen sich aber auch die der benachbarten Tafeln befestigen, wodurch alle regelmäfsig und dicht schliefsend versenkt wurden. Um jedoch einen noch bessern Schlufs hervorzubringen, waren Streifen von Zwillich auf ihre Räder genagelt. Die Leitschienen wurden nicht früher ausgeschroben und entfernt, als bis die benachbarten Tafeln bereits am Boden lagen. Um das Aufschwimmen zu verhindern, hatte man dieselben aber schon beim Herablassen mit kleinen Steinen beschwert.

Nachdem auf solche Art der Boden gedichtet war, führte man erst die Fangedämme auf und setzte die Schöpfmaschinen in Bewegung, wobei das Wasser sich regelmäfsig senkte und die Baugrube trocken wurde. Alle erwähnten Arbeiten waren in der Tiefe von 8 bis 9 Fufs unter Wasser ausgeführt. Auf die Tafeln, die nunmehr eine gleichmäfsige und starke Beschwerung erhielten, wurden die Brückenpfeiler gestellt, aufserdem aber auch der ganze Raum ober-

halb und unterhalb der Brücke, 6 Fufs hoch ausgemauert. Die äussern Spundwände erhielten Fachbäume, die mit der Oberfläche des Pflasters bündig waren, über die innern Spundwände wurde dagegen das Mauerwerk herübergeführt. Bei diesem ganzen Bau ereignete sich kein namhafter Unfall und die Brücke hat sich, soviel bekannt, gut gehalten. Zur Zeit des niedrigen Sommerwasserstandes beträgt die Wassertiefe über den Fachbäumen oder der Grundmauer 2 Fufs. Die Brücke hat 13 Bogen von 60 Fufs Spannung, während die Profilweite der früheren Brücke kaum die Hälfte maafs. *)

Beim Bau der Spühlschleuse in Dieppe, die in einem Caisson, also ganz ohne Wasserschöpfen erbaut wurde, wendete de Cessart gleichfalls eine Thonschüttung an, um die Bildung starker Wasseradern unter dem Schleusenboden zu verhindern. Die Maschine, die er zum Versenken des Thones benutzte, war der beschriebenen sehr ähnlich und unterschied sich von dieser nur dadurch, dafs die einzelnen Klappen sich unmittelbar berührten, woher die starken Gitterstäbe entbehrt werden konnten. Der Thon war vor dem Gebrauche getrocknet und pulverisirt. Zur Bedeckung desselben dienten Moosmatratzen, auf denen der Boden des Caissons, also der liegende Rost ruhte. Nichts desto weniger wurde durch diese Vorsichtsmaafsregeln das Durchströmen des Wassers nicht verhindert und die Schleuse stürzte nach wenig Jahren ein. Es war jedenfalls viel gewagt, dafs man durch einen Bau, der nur auf Kiesboden gestellt war und nirgend in denselben eingriff, den hohen Wasserstand der Fluth abhalten wollte, der zur Zeit der Springfluthen sich hier 30 Fufs erhebt.

§. 44.
Trockenlegung der Baugrube.

Die Beseitigung des Wassers aus tiefen Baugruben wird besonders schwierig, wenn der Boden porös ist und ein Flufs oder See sich in der Nähe befindet. Eben so wie ein unter gleichen Verhält-

*) Die ausführliche Beschreibung dieses Baues, erläutert durch sehr klare Zeichnungen, enthält das bereits citirte Werk von Régemortes: „*Description du nouveau pont de pierre construit sur la rivière d'Allier à Moulins.* 1771.“

nissen ausgeführter Brunnen nie versiegt, so sammelt sich das Wasser auch in dieser Baugrube, und jemehr man es durch Pumpen oder Schöpfen senkt, um so stärker fliefst es hinzu, indem der Wasserdruck, unter welchem die Quellen eintreten, sich durch diese Senkung verstärkt. Die Schwierigkeiten, welche der Trockenlegung der Baugrube sich entgegenstellen, werden zuweilen so grofs, dafs man mit den vorhandenen Schöpfmaschinen nicht ausreicht, denn wie kräftig diese auch sein mögen, so setzt die Vermehrung des Zuflusses bei der zunehmenden Senkung des Wasserspiegels ihrer Wirksamkeit doch endlich eine Grenze, und so giebt es jedesmal eine gewisse Tiefe, bei der eben so viel Wasser zufliefst, als die Maschine hebt, und alsdann ist eine fernere Senkung nicht mehr möglich. Dieser tiefe Wasserstand findet aber nur statt, wenn die Maschine in voller Wirksamkeit erhalten wird, sobald eine Unterbrechung eintritt, steigt das Wasser und die Maschine mufs wieder einige Zeit hindurch gearbeitet haben, bevor die Senkung bis zur früheren Tiefe erfolgt. Sehr vortheilhaft ist es, wenn die erwähnte Grenze oder die Tiefe, bis zu welcher die Maschine das Wasser senken kann, weit unter der Sohle der Baugrube liegt. In diesem Falle darf das Pumpen auch nicht ununterbrochen fortgesetzt werden. Wenn dagegen jene Grenze in diejenige Höhe fällt, bis zu welcher die Senkung stattfinden mufs, wenn der Rost gelegt oder der sonstige Grundbau vorgenommen werden soll, so darf die Maschine gar nicht zum Stillstande kommen. Man mufs in solchem Falle schon einige Stunden vor dem Anfange der eigentlichen Arbeitszeit an jedem Morgen das Wasserschöpfen beginnen lassen, um den Zuflufs, der während der Nacht nicht entfernt war, zu beseitigen. Für besonders tiefe und ausgedehnte Gruben, wie etwa zu Schleusen-Anlagen genügt aber auch dieses nicht, und man mufs sogar, um Unterbrechungen der Arbeit zu vermeiden, die Schöpfmaschinen dauernd, also eben sowol in der Nacht, wie am Tage und nicht minder an Sonntagen, im Betriebe erhalten. Vortheilhaft ist es aber, wenn in solchem Falle auch die eigentlichen Fundirungsarbeiten ununterbrochen fortgesetzt werden, um den Bau möglichst bald soweit heraufzuführen, dafs es des Pumpens nicht mehr bedarf.

Zuweilen sind die aufgestellten Maschinen gar nicht im Stande, das Wasser hinreichend tief zu senken. Man mufs alsdann mit grossem Zeitverluste, der wieder mit Kosten verbunden ist, die Anzahl

oder die Wirksamkeit der Maschinen vergrößern, oder zu einer andern Fundirungsart übergehn, die eine minder tiefe Senkung des Wassers erfordert. Zuweilen ist man sogar gezwungen, die Baustelle ganz zu verlassen, und dafür eine andere, weniger quellreiche aufzusuchen. Wie störend und kostspielig solche Unterbrechungen sind, besonders wenn sie unerwartet eintreten, bedarf keiner nähern Auseinandersetzung, es muſs jedoch noch darauf hingewiesen werden, daſs durch die Aufstellung einer recht kräftigen Maschine, wodurch die Baugrube wirklich trocken gelegt wird, sich keineswegs alle Schwierigkeiten beseitigen, indem eben die starke Strömung, welche sich durch den Baugrund hindurchzieht, denselben so auflockern kann, daſs er die nöthige Festigkeit verliert.

Die Vorsichtsmaaſsregeln zur Vermeidung solcher Unannehmlichkeiten beziehn sich zunächst darauf, daſs man sich bemüht, den Wasserzudrang möglichst zu schwächen. Dieses geschieht, indem man für die Baustelle den passendsten Platz aussucht, oder sie dahin verlegt, wo der Boden mehr thonig als sandig und kiesig ist, und wo der Fluſs sich etwas weiter entfernt. In vielen Fällen ist indessen keine Wahl gestattet, doch jedenfalls ist es bei allen wichtigeren Bauten nothwendig, daſs man durch Bohrungen sich schon vorher von der Beschaffenheit des Grundes überzeugt, um die Stärke des Wasserzudranges einigermaaſsen beurtheilen zu können.

Zuweilen gelingt es auch, starke Quellen, welche sich in die Baugrube ergieſsen, durch Aufschüttungen oder durch Abrammen u. dergl. zu schlieſsen. Als im Jahre 1813 das Dock bei Antwerpen gebaut wurde, traten so groſse Wassermassen in die Baugrube, daſs die kräftigen Maschinen, die man aufgestellt hatte, die erforderliche Senkung nicht bewirken konnten. Man bemerkte aber, daſs das eindringende Wasser viel Erde mit sich führte, und bald gab sich die Richtung des Zuflusses durch das Einsinken des Bodens in einiger Entfernung zu erkennen. Man ersah hieraus, daſs der Quell aus einem Festungsgraben gespeist wurde, und bei näherer Untersuchung desselben fand man, daſs eine ansehnliche Vertiefung sich darin gebildet hatte. Indem man diese durch eingeschüttete Erde ausfüllte und überhöhte, hörte der starke Wasserzudrang auf. *)

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1856. *II.* *p.* 321.

Der Wasserzudrang hängt von der Höhe des Wasserstandes in den Flüssen oder anderer in der Nähe befindlichen Wasserbecken ab, und da dieser nach der Jahreszeit veränderlich ist, so liegt ein grofser Vortheil darin, wenn diejenigen Arbeiten, wobei die tiefste Senkung erforderlich ist, in solche Zeit fallen, wo die Flüsse das wenigste Wasser führen und überhaupt die gröfste Dürre stattfindet. Dieses pflegt in den Monaten September und Anfang October der Fall zu sein. Sodann findet sich zuweilen auch Gelegenheit, die unterirdischen Quellen, welche eine Baugrube füllen, schon ehe sie diese erreichen, aufzufangen und anderweit abzuleiten. Zu diesem Zwecke hat man die Anlage von Artesischen Brunnen in einiger Entfernung oberhalb der Baugrube empfohlen, wovon indessen nur selten einiger Nutzen zu erwarten ist. Solche Brunnen müssen überfliefsen, wenn sie etwas helfen sollen, und man mufs sich bemühen, ihre Ergiebigkeit durch Eröffnung recht tiefer Abflüsse möglichst zu vergröfsern, denn jemehr Wasser man ihnen entzieht, um so weniger können dieselben Quellen die Baugrube füllen.

Die Trockenlegung der Baustelle läfst sich ferner, wenn auch die Zuflüsse nicht weiter zu vermindern sind, noch dadurch wesentlich erleichtern, dafs man durch Eröffnung tiefer Abzugsgräben den natürlichen Abflufs möglichst fördert. Man wird zwar nur selten in dieser Art von der Sohle der Baugrube das Wasser ableiten können, aber sehr häufig treten starke Quellen in gröfserer Höhe ein, und durch Beseitigung derselben werden die Schöpfmaschinen schon ansehnlich entlastet. Man mufs überhaupt sehr aufmerksam sein, dafs die Hubhöhe nicht gröfser wird, als sie nach den localen Verhältnissen sein mufs. Der Effect der Schöpfmaschine ist das Product aus der Wassermenge, die etwa in einer Minute gehoben wird, in die Hubhöhe. Gelingt es, die letztere auf die Hälfte zu reduciren, so kann im Allgemeinen dieselbe Maschine oder dieselbe Anzahl von Arbeitern doppelt soviel Wasser fördern. Dieser Umstand wird häufig ganz übersehn. Man hebt das Wasser so hoch, wie die vorräthigen Pumpen sind, und giefst es nicht selten wohl 6 Fufs über dem Fangedamm aus, während es doch nur so eben über das Niveau des äufsern Wassers gehoben zu werden brauchte.

Die Krone des Fangedammes tritt unter gewöhnlichen Verhältnissen einige Fufs hoch über das äufsere Wasser, man mag

indessen dieselbe nicht einschneiden, um den Damm keiner Gefahr auszusetzen. Diese Vorsicht ist jedoch meist nicht gerechtfertigt, denn indem der Einschnitt über Wasser geschieht, so kann man ihn immer schnell und sicher, sobald es nöthig sein sollte, wieder schliefsen, und eine undichte Stelle im Fangedamme, wenn sie in der Nähe seiner Krone vorkommt, ist jedenfalls wenig bedenklich. Hiernach rechtfertigt sich das Verfahren, welches man hin und wieder anwendet, dafs man nämlich die Füllungserde des Dammes vor den Pumpen bis gegen den Wasserspiegel ausgräbt, die beiden Holzwände in dieser Höhe etwa einen Fufs breit durchschneidet und eine Rinne einlegt. Sobald das Wasser wieder steigt, so schiebt man, nachdem die Rinne herausgezogen ist, Brettstücke auf der innern Seite vor die Einschnitte beider Wände und bringt in dünnen Lagen wieder bis zur passenden Höhe den Thon auf, den man fest stampft. Indem das Steigen des Wassers gemeinhin nicht unerwartet erfolgt und eine wichtige Baustelle doch nie ohne Aufsicht bleiben kann, so findet hierbei keine Gefahr statt.

Andrerseits hat man zuweilen gleich beim Bau des Fangedammes hölzerne Rinnen durch denselben hindurchgezogen. Dieses Mittel wandte schon Perronet beim Bau der Brücke zu Neuilly an, und es kommt gewöhnlich auch bei denjenigen Fangedämmen vor, welche nur den Wasserstand der Ebbe abhalten sollen, da es Gelegenheit giebt, das Fluthwasser aus der Baugrube abzuführen. Die Rinne selbst läfst sich leicht wasserdicht darstellen, aber es ist schwer, ihre Verbindung mit der Füllungserde genügend zu sichern. Besonders mufs man aber befürchten, dafs unter ihrem Boden sich Quellen hindurchziehn, indem eines Theils die Erde sich hier nicht fest dagegen stampfen läfst und andern Theils auch leicht später ein Setzen der Erde eintreten kann, an welchem die Rinne nicht Theil nimmt.

Eine andre Methode zur Vermeidung der überflüssigen Hubhöhe beruht darauf, dafs man das gehobene Wasser in Hebern über den Fangedamm fliefsen läfst. Dieses Verfahren, welches vor geraumer Zeit in Metz angewendet wurde *), scheint sich vorzugsweise zu empfehlen, man mufs dazu aber im Innern der Baugrube einen grofsen Kübel einrichten, der das Wasser zunächst aufnimmt und

*) Sganzin, *programme. I. 4. édition. p.* 308.

dessen Umfassungswände sich bis zum höchsten äufsern Wasserstande erheben. Wenn der Heber aus gufseisernen Röhren besteht, so wird er seinen Dienst sehr regelmäfsig und sicher erfüllen, doch mufs er an seinem obern Ende mit einer Füllröhre und hier sowohl, als an beiden Mündungen mit Hähnen oder Klappen versehn sein, die sich leicht öffnen und schliefsen lassen, weil man ihn sonst nicht in Wirksamkeit setzen kann. Sein Querschnitt darf auch nicht zu enge sein, mufs vielmehr der durchzuführenden Wassermenge entsprechend gewählt werden, weil er sonst eine gröfsere Druckhöhe zum Abführen des Wassers gebraucht. Man hat zuweilen auch die Pumpen mit Hebern verbunden, oder ihnen eine solche Einrichtung gegeben, dafs sich die Hubhöhe nach dem jedesmaligen äufsern Wasserstande von selbst regulirt: hiervon wird bei Beschreibung der Schöpfmaschinen die Rede sein.

Demnächst läfst sich auch der Wasserspiegel in dem Abzugsgraben zuweilen durch eine angemessene Leitung desselben senken und dadurch wieder die Hubhöhe der Schöpfmaschinen vermindern. So gelang es Régemortes, den Wasserspiegel in der Baugrube um 19 Zoll zu senken, indem er einen Canal am Ufer des Allier-Flusses etwa 200 Ruthen stromabwärts zog, bei mehreren Schleusen am Bromberger Canale war es sogar möglich, die Baugrube ohne Schöpfmaschinen trocken zu legen, indem man jedesmal das Gefälle der nächstfolgenden Schleuse benutzte und bis zu ihrem Unterwasser oder bis zur zweiten Canalstrecke den Abzugsgraben herabführte.

Bei der Unsicherheit, die jedesmal ohnerachtet aller vorher gehenden Untersuchungen über die Stärke des Zuflufses statt zu finden pflegt, empfiehlt es sich, die Anordnungen so zu treffen, dafs man nöthigenfalls mit den beigeschafften Maschinen auch eine gröfsere Wassermenge zu heben im Stande ist, als man erwartet. Wenn hierdurch auch vielleicht und namentlich bei Anwendung von Dampfmaschinen nicht das Maximum des Nutzeffectes gewonnen wird, so erreicht man doch den grofsen Vortheil, dafs man bei einem unerwartet starken Zuflusse nicht den Bau unterbrechen darf. Eine solche Unterbrechung ist aber besonders nachtheilig, wenn der zur Fundirung günstige Wasserstand des Flusses nur kurze Zeit hindurch anhält, und sonach eine Störung der Arbeit in dieser Periode vielleicht die Beendigung des Baues um ein ganzes Jahr verzögert.

Das Schöpfen des Wassers geschieht nicht in der Sohle der Baugrube selbst, weil man diese alsdann nicht wasserfrei machen könnte, auch ist es bei allen Schöpfmaschinen und namentlich bei Pumpen vortheilhaft, das Wasser nicht unmittelbar über dem Boden zu entnehmen, woselbst es gar zu unrein ist; in einer gröfseren Höhe darüber ist es frei von den gröbsten erdigen Theilchen. Aus diesem Grunde pflegt man in der Baugrube selbst noch eine besondere Vertiefung oder den sogenannten Sumpf zu bilden. Bei Einrichtung desselben mufs man aber sehr vorsichtig sein, dafs hierdurch nicht etwa dem Wasser ein leichter Zutritt eröffnet wird. Dieses wäre zu befürchten, sobald in geringer Tiefe unter der Sohle der Baugrube sich besonders poröse Schichten vorfinden. In solchen Fällen kann es nöthig werden, den Sumpf in seiner Sohle zu bedecken und ihn in den Seitenwänden wie einen Brunnen einzufassen, damit er möglichst wasserdicht wird und sich nur von oben durch die Zuflüsse aus der Baugrube füllt.

Zuweilen kann man in einer Baugrube, wenn die Schöpfmaschinen im Gange sind, deutlich bemerken, dafs an einzelnen Stellen starke Quellen hervortreten, und man versucht alsdann diese zu stopfen, doch ist im Allgemeinen der Erfolg davon wenig befriedigend. Es kommt hierbei vorzugsweise auf die Beschaffenheit des Grundes an; wenn derselbe sandig oder kiesig ist, so wird durch die Schliefsung derjenigen Oeffnung, durch welche das Wasser hervorquoll, der vermehrte Druck im Innern sogleich zur Entstehung eines neuen Ausflusses Veranlassung geben. Bei einem mehr thonhaltigen Boden, worin sich vielleicht eine geschlossene Wasserader gebildet hat, kann dagegen eine dichte Sperrung, die man in der Mündung anbringt, den Quell vollständig verschliefsen. Um diese Sperrung zu bewirken, ist das einfachste und gewöhnlichste Mittel dieses, dafs man einen Pfahl hineinrammt; man hat auch hin und wieder recht trockne Thonmassen hineinzustopfen versucht, die im Wasser quellen und sonach die Ader schliefsen, auch ist Béton zu diesem Zwecke benutzt worden, doch lassen die beiden letzten Mittel nur in dem Falle einigen Erfolg erwarten, wenn man vor ihrer Anwendung die Schöpfmaschinen aufser Thätigkeit gesetzt hat, damit die Strömung für einige Zeit unterbrochen bleibt. Wenn dieses nicht geschehn ist, so dürfte der Thon oder der Béton sich gar nicht hineinbringen lassen, oder doch wenigstens nicht die

gehörige Füllung der Oeffnung bewirken, indem das durchfliefsende Wasser ihn zu stark angreift und die gelösten Theilchen heraustreibt.

Zuweilen hat man solche Quellen in besondere Fangedämme, oder auch wohl in Fässer oder Röhren eingeschlossen. Dieses Mittel ist gewifs passend, wenn der Zusammenhang der Quellen mit der übrigen Baugrube sich ganz aufheben läfst und das Wasser in der Röhre wirklich zur vollen Druckhöhe ansteigt, wodurch der fernere Zuflufs des Quells unterbrochen wird. In dieser Art wurden beim Bau der Brücke zu Orleans mehrere Quellen eingefafst. Jedenfalls mufs alsdann der Baugrund hinreichend fest sein, damit das Wasser unter dem stärkeren Drucke sich nicht daneben einen neuen Ausweg eröffnen kann. Ist dieses nicht der Fall, so läfst man das Wasser in der Röhre bis über den äufsern Wasserspiegel ansteigen und leitet es in diesen ab, erhebt es sich aber nicht so hoch, so hat man nur für die gehörige Dichtung der Röhre zu sorgen, damit keine Ausströmung in die Baugrube erfolgt. In beiden Fällen behindert diese Röhre nicht die Ausführung des Fundamentes, wenn sie neben demselben sich befindet, tritt sie aber in dieses hinein, so mufs sie durch Mauerwerk umschlossen und nach Erhärtung des letzteren durch Béton gesperrt werden, wie später mitgetheilt werden wird.

Das sicherste Mittel zum Stopfen der aus dem Grunde hervorbrechenden Quellen bietet der Béton dar, besonders wenn er über die ganze Sohle als Grundfangedamm ausgebreitet wird. Hauptbedingung ist hierbei aber, dafs man der Bétonlage hinreichende Zeit zum Erhärten läfst, bevor sie dem Wasserdrucke ausgesetzt wird, denn so lange sie noch weich ist, findet das Wasser leicht Gelegenheit hindurchzudringen und spült alsdann die Kalktheilchen heraus, so dafs der Béton an einzelnen Stellen alle Festigkeit verliert und über denselben die Quellen sich wieder zeigen.

§. 45.
Schöpfmaschinen.

Wenn bei ausgedehnten Fundirungs-Arbeiten oder sonstigen Bauanlagen grofse Wassermassen längere Zeit hindurch gewältigt wer-

noch nahe $4\frac{7}{8}$ Zoll zurückzuziehn, ehe sie auf den Pfahl wirken konnte. Dieser Spielraum war jedenfalls zu grofs, er konnte aber vermindert werden, sobald mehrere Befestigungsstellen für den Durchsteckbolzen vorgerichtet wurden, von denen eine oder die andere pafste. Ich wählte deren drei, welche, wie Figur 228 zeigt, $2\frac{4}{5}$ Zoll von einander entfernt waren. Es ist also ein ähnliches Princip, wie bei den Nonien, in Anwendung gebracht, die doppelte Entfernung der Oeffnungen in der Kette ist in drei Theile getheilt, und da von den vier Theilungspunkten die beiden äufsern eine gleiche Stellung gegen die Theilung der Kette haben, so durfte einer derselben fortfallen. Auf diese Art war es möglich, die Kette von $2\frac{4}{5}$ zu $2\frac{1}{3}$ Zoll zu verkürzen, und dieser Spielraum war die gröfste Länge, um welche die Kette sich beim Senken des Hebels verlängert haben würde. Fig. 228 *a* und *b* zeigt die ganze Anordnung: zwei hochkantige Schienen von $\frac{7}{8}$ Zoll Stärke sind mittelst drei Bolzen an den Wuchtbaum befestigt, und stehn so weit von einander ab, dafs die Kette noch eben frei durchzogen werden kann. In ihnen sind die erwähnten drei Oeffnungen für den Durchsteckbolzen angebracht.

Damit die Kette nicht etwa vom Wuchtbaume herabgleitet, sich auch in den kürzeren Hebelsarm nicht stark eindrückt, ist, wie dieselben Figuren zeigen, am Kopfe des Wuchtbaumes ein Einschnitt gemacht, der eine cylindrisch geformte vertiefte Rille bildet, die mit einem starken Eisenblech ausgefüttert ist. Man erlangt dadurch auch den Vortheil, dafs die Kette leichter aufgezogen werden kann. Ihr Gewicht ist indessen so grofs, dafs sie aus freier Hand durch einen oder wenige Arbeiter nicht zu bewegen ist. Aus diesem Grunde ist, wie Fig. 225 zeigt, noch ein Flaschenzug angebracht, womit man sie, sobald der Wuchtbaum gehoben ist, heraufzieht. Dieses geschieht durch dieselben Arbeiter, welche die Erdwinde in Bewegung setzen. Nachdem die Kette steif gezogen ist, sucht der Zimmermann, der auf dem Wuchtstuhle steht und die ganze Arbeit leitet, die passende Oeffnung für den Durchsteckbolzen aus. Ist letzterer eingebracht, so kann die Leine am Flaschenzuge wieder aus der Hand gelegt werden, doch mufs man ihr Ende festschlingen, damit der obere Theil der Kette nicht vom Wuchtbaume herabstürzt.

Obgleich die Kette auf solche Art sicher befestigt ist, so hat

sie noch nicht die erforderliche Spannung und es kann leicht geschehn, dafs der Pfahl gegen 3 Zoll weniger hoch gehoben wird, als wenn die Kette sogleich scharf angezogen wäre. Um diesen Kraftverlust zu vermeiden, liefs ich am Kopfe des Wuchtbaumes unter die Kette noch eichene Keile von beiden Seiten aus einschlagen, die Fig. 225 sichtbar sind. Dieselben hoben den Spielraum vollständig auf und zum Beweise, dafs sie fest eingetrieben waren, diente ein Schlag mit dem Hammer gegen die senkrecht herabhängende Kette, die nicht klirren durfte, sondern einen so hellen Klang geben mufste, als wenn sie ein fester Stab wäre. Sobald der Kette diese Spannung ertheilt war, so übte der Wuchtbaum sogleich den vollen Zug auf den Pfahl aus.

Der Widerstand, welchen die Pfähle leisteten, war gewöhnlich so grofs, dafs sie beim ersten Anziehn des Wuchtbaumes nur sehr langsam sich hoben, und häufig schien es, als ob sie trotz des kräftigen Zuges, der noch durch die Beschwerung des Wuchtbaumes vermehrt wurde, gar nicht zu bewegen wären. In solchen Fällen versuchte ich es, sie in starke Erschütterung zu versetzen, doch konnte ich von diesem Mittel niemals einigen Erfolg bemerken. Auch andere Erschütterungen zeigten keine Wirkung. Es bedarf kaum der Erwähnung, dafs das Schlagen mit einer Axt gegen den Pfahl, wie zuweilen empfohlen wird, ganz zwecklos ist, aber selbst der Stofs eines dreifsigfüfsigen Balken, den ich an zwei Tauen horizontal aufhing, und wie einen Mauerbrecher schwingen und gegen den Pfahl stofsen liefs, zeigte sich ganz erfolglos. Ebenso zwecklos waren jederzeit die Schläge, die ich mit der Ramme auf den Kopf des Pfahles führen liefs, während der Wuchtbaum ihn dauernd aufwärts zog. Dieses letzte Mittel ist mehrfach und angeblich mit grofsem Vortheil angewendet, ich habe aber dadurch niemals auch nur die geringste Wirkung erreicht. Vielleicht ist es bei andern Bodenarten vortheilhafter. Perronet zog bei der Brücke zu Neuilly die Pfähle der Rüstungen und Fangedämme aus, indem er an beiden Seiten des Pfahles einscheibige Blöcke befestigte, worüber Taue geschoren waren, die nachdem sie über feste Scheiben an der Ramme gelaufen, durch Winden angezogen wurden. Während die letzteren wirkten, liefs man den Rammklotz auf den Pfahl fallen, wodurch derselbe sich aus dem Boden gelöst haben soll. Die ganze Anordnung zeigt aber wohl, dafs hierbei kein

sonderlicher Widerstand zu überwinden war. Bei den Hafenarbeiten zu Sables d'Olonne benutzte Lamandé nach demselben Prinzip eine Maschine, welche aus zwei einander entgegengekehrten Wuchtbäumen bestand, die beide auf das Herausziehn des Pfahles wirkten, während zwischen ihnen die Ramme befindlich war, deren Schläge den Kopf des Pfahles trafen.*)

Gauthey erklärt die Wirksamkeit des Schlages auf das Ausziehn der Pfähle dadurch, daſs die eisernen Pfahlschuhe oxydiren, was besonders bei der Berührung mit Seewasser bald erfolgt, und sie alsdann die Sand- und Kiestheilchen in der Umgebung mit sich verbinden, woher die Pfähle in diesem Falle auch zuweilen groſse Sandklumpen heraufbringen sollen. Diese Erscheinung findet allerdings statt, doch waren die Stücke Conglomerat, die ich mit den Pfahlschuhen heraufkommen sah, immer nur einige Cubikzolle groſs und konnten keinen merklichen Widerstand verursachen. Wenn das Rammen nur dazu dienen soll, solche erhärtete Massen zu zerbrechen oder zu lösen, so wird es bei feststehenden Pfählen auch wenig Erfolg haben. Ich habe immer gefunden, daſs der dauernde Zug viel wirksamer ist, als alle Erschütterungen, die man anbringen mochte. Wenn der Pfahl vom Wuchtbaume nicht gleich gehoben wurde und selbst die am langen Hebelsarme aufgehiſsten Gewichte nichts fruchteten, so brach ich, wenn es möglich war, die Arbeit sogleich ab und beschäftigte die Leute anderweitig, während der Wuchtbaum dauernd den kräftigen Zug ausübte. Wenn dagegen eine solche Unterbrechung nicht füglich eintreten konnte, so lieſs ich den Wuchtbaum an andere Pfähle schieben, und bevor die Arbeit am Abende aufhörte, wurde noch der Zug gegen den ersten Pfahl dargestellt. Der Erfolg war jedesmal der, daſs der Wuchtbaum am nächsten Morgen sich bis zum Boden gesenkt und den Pfahl etwas gehoben hatte, und diese Bewegung war niemals plötzlich eingetreten, sondern ganz unmerklich. Schon bei Gelegenheit des Rammens ist erwähnt worden, daſs in jedem Boden, der einigermaaſsen die Eigenschaften eines dickkflüssigen Körpers hat, der dauernde todte Druck weit wirksamer ist, als der Stoſs. Am wenigsten sollte man dieses noch beim Sande erwarten, da ich es aber auch hier bestätigt gefunden habe, so möchte ich den Nutzen der

---

*) Gauthey, *Traité de la construction des Ponts. II. p.* 270.

Erschütterungen überhaupt bezweifeln. Man wählt dieses Mittel, um nicht müſsig dem langsamen Erfolge entgegensehn zu dürfen, und wenn vielleicht ganz unabhängig von dieser Beihülfe die Bewegung endlich eintritt, so ist man geneigt zu glauben, daſs sie hierdurch veranlaſst wurde.

Wenn der Pfahl sich etwas gehoben hat und der Wuchtbaum bei jedem Zuge schneller herabsinkt, so verstellt man den Wuchtbaum, so daſs die Drehungsachse in die hintern Pfannen kommt, oder daſs der kürzere Hebelsarm sich auf 2 Fuſs verlängert. Alsdann steigt der Pfahl jedesmal höher auf, und wenn endlich auch nunmehr wieder der Wuchtbaum mit groſser Geschwindigkeit niedersinkt, so wird die schwere Kette ganz fortgenommen und eine leichtere Kette am Pfahle und am untern Blocke des Flaschenzuges, der auf dem Wuchtbaume liegt, befestigt und die Arbeiter ziehn den Pfahl vollends aus dem Grunde.

Es waren bei diesem Wuchtbaume im Ganzen sechs Mann mit Einschluſs eines Zimmergesellen angestellt, nämlich drei Mann an der Erdwinde, ein Arbeiter stand auf dem Flosse und hatte dafür zu sorgen, daſs die Kette sich nicht vom Pfahle löste, und der fünfte nebst dem Zimmermanne standen auf dem Wuchtstuhle um die Keile einzutreiben, zu lösen, die Vorsteckbolzen zu versetzen und dergleichen. Der Arbeiter auf dem Flosse konnte, sobald die Schlinge der Kette sich recht fest gezogen hatte, noch zur Hülfe der drei Arbeiter an die Winde gehn. Auf diese Art wurden von den schwersten Pfählen täglich durchschnittlich 4 Stück gehoben. Die Aenderung des Apparates hatte also die Folge, daſs nicht nur die Anzahl der dabei beschäftigten Arbeiter auf den dritten Theil vermindert, sondern auch die Arbeit beschleunigt wurde. An den Bohlwerken der beiden Hafen-Bassins hatte man bei früheren Reparaturen und Neubauten die alten Pfähle immer im Grunde stecken lassen, weil das Ausziehn derselben zu mühsam war. Mit diesem veränderten Wuchtbaume boten jedoch die Pfähle, die hier nur 36 Fuſs lang waren, so wenig Widerstand, daſs sie beim ersten Einstellen sogleich willig folgten, wenn, daher wegen ungünstiger Witterung eine andere Arbeit unterbrochen wurde, oder sonst auf einige Zeit ein Theil der Tagelöhner nicht gehörig beschäftigt werden konnte, so stellte ich sie an den Wuchtbaum, und lieſs sie diese alten Pfähle ausziehn. Sie hoben an einem Tage 8 bis 12 Stück

derselben und es wurde dadurch nicht nur der Hafen gereinigt, sondern noch eine Menge Holz gewonnen, welches zwar weicher als das frische Holz war, aber dennoch zu Rüstungen und vielen andern Zwecken mit Vortheil verbraucht werden konnte.

Vorstehend ist der Erdwinde gedacht worden, und da dieselbe eine sehr kräftige, leicht darzustellende und leicht zu transportirende Maschine ist, welche auf den Baustellen vielfach angewendet werden kann, so darf ihre Beschreibung hier nicht fehlen. Fig. 229 *a* und *b* zeigt sie in der Ansicht von der Seite und im Grundrifs. In dem Grundrifs ist die Spindel oder die senkrechte Welle herausgenommen gedacht, die in Fig. 229 *a* gezeichnet ist. Die Zusammensetzung des Rahmens zeigen die Figuren, man läfst zuweilen die beiden Schwellen auf der dem Zuge entgegengesetzten Seite sich in eine Spitze vereinigen und überblattet sie hier, wodurch der Rahmen noch etwas mehr Festigkeit erhält. Der Zug, der durch die Richtung des Taues bestimmt wird, entfernt sich zuweilen bis 2 Fufs oder auch wohl noch mehr von dem Boden, und es entsteht alsdann die Gefahr, dafs die beiden Stiele herausgerissen und um das untere Ende der Streben gedreht werden möchten, es ist deshalb vortheilhaft, gekröpfte eiserne Schienen gegen die Stiele zu nageln und um die Schwellen zu legen, oder diese Schienen unten in Bolzen ausgehn zu lassen, welche durch die Schwelle hindurchgreifen und hier mit Schraubenmuttern gehalten oder verniethet werden. Die Befestigung geschieht sonst in allen Theilen nur mit starken Nägeln, und wo eine Bohle gegen die andere genagelt ist, wird die Spitze des Nagels abgekniffen, eine Niethscheibe aufgesetzt und darin der Nagel breit geschlagen. Verbindungen dieser Art sind beim Schiffsbau ganz gewöhnlich, und wie die Erfahrung lehrt, sehr fest und dauerhaft. Die Spindel steht mit dem untern Zapfen in einem runden Loche auf dem mittlern untern Riegel, und mit dem Halse liegt sie in einem passenden Einschnitte des obern Riegels. Eisenbeschläge kommen hier nicht vor, es befindet sich nur ein eiserner Ring über dem viereckigen Kopfe der Spindel, um das Aufspalten desselben zu verhindern. Der Zug des Taues drückt immer die Spindel mit ihrem obern Halse in den Einschnitt des Riegels, es ist daher ein Herausfallen derselben beim Gebrauche der Winde undenkbar, aber auch wenn die Winde nicht gebraucht wird, steht die Spindel mit ihrem Fufse auf dem untern Riegel sicher auf. Aus diesem Grunde

ist ein Bügel oder Ueberwurf am Halse entbehrlich. Die eigenthümlich ausgeschmiegte Form im untern Theile der Spindel wird durch die Benutzungsart der Winde bedingt.

Will man die Winde anwenden, um etwa einen sehr schweren Körper zu ziehn, oder ihn auf einer flach geneigten Ebene zu heben, so kommt es zunächst darauf an, die Winde so fest zu stellen, dafs sie nicht etwa selbst fortgezogen wird. Das gewöhnliche Mittel hierzu ist, dafs man kleine Pfählchen vor die Riegel der Winde in den Boden einschlägt, wie die Figur vier derselben zeigt. Zuweilen genügt dieses aber nicht, und man mufs alsdann durch eine Kette, die um den hintersten Riegel geschlungen ist, die Winde an einen andern Gegenstand befestigen, z. B. an einen Baum oder einen starken Pfahl, auch wohl an einen eingegrabenen schweren Schiffsanker u. dergl. Ist in dieser Art das Gestell in der gehörigen Richtung sicher befestigt, so setzt man die Spindel ein, versieht sie mit den Durchsteckarmen und schlingt das Tau, welches angezogen werden soll, um den dünnsten Theil der Spindel herum. Man macht gewöhnlich drei Windungen, doch zuweilen auch nur zwei: wenn aber der Zug sehr stark ist, deren vier. Diese Windungen müssen so gerichtet sein, wie Fig. 229 *a* angiebt, nämlich so, dafs beim Anziehn des Taues dasselbe sich immer höher auf die Spindel herauflegt. Das lose umgeschlungene Tau würde beim Drehn der Winde gar nicht fortgezogen werden, wenn nicht an dem hintern freien Ende desselben einige Spannung stattfände. Um diese darzustellen, sitzt ein Arbeiter auf dem hintern Riegel der Winde, das Gesicht nach der Spindel gekehrt, die Durchsteckarme gehen über seinem Kopfe fort, so dafs er deren Bewegung nicht hindert. Indem die Reibung eines Taues, welches um eine Welle geschlungen ist, sich mit der Vermehrung der Windungen aufserordentlich vergröfsert, so ist ein Gegendruck von einem Pfunde schon hinreichend, die Reibung so zu verstärken, dafs sie bei drei Windungen einen Widerstand von mehr als 5 Centnern ausübt und bei vier Windungen schon von mehr als 40 Centnern. Auf solche Art kann ein Arbeiter ohne grofse Anstrengung das Tau gehörig fest anziehn, und wie das Ende, welches er in der Hand hält und spannt, sich verlängert, so schiefst er dasselbe zugleich regelmäfsig auf, so dafs es nach gemachtem Gebrauche sogleich fortgetragen und anderweitig benutzt werden kann. Hierbei rücken die Windungen des Taues immer höher an der Spindel her-

auf und es würde endlich die Arbeit ganz unterbrochen werden, wenn nicht von Zeit zu Zeit das sogenannte Schrecken erfolgte. Jener Arbeiter ruft nämlich der übrigen Mannschaft zu, daſs sie anhalten solle, und gleich darauf schiebt er das Ende, das er in der linken Hand hält, etwas vor, die sämmtlichen Windungen lösen sich dadurch augenblicklich, und da der Durchmesser der Spindel sich nach unten stark verjüngt, so kann derselbe Arbeiter leicht mit der rechten Hand das Tau wieder auf die dünnste Stelle der Spindel herabdrücken. Es erfolgt diese ganze Operation, wenn der Arbeiter geübt ist, in der Zeit von etwa einer Secunde, und es wäre dabei das Anhalten der Winde gar nicht nöthig, wenn man nicht vermeiden wollte, daſs bei dem plötzlichen Aufhören des Widerstandes die sämmtlichen Arbeiter, sobald dieses ganz unerwartet geschähe, hinfallen könnten.

Um den Effect dieser Winde zu beurtheilen, muſs bemerkt werden, daſs die Reibung, die hier nur Achsenreibung ist, ziemlich unbedeutend bleibt. Die Arbeiter entwickeln aber an den Hebelsarmen, die sie vor sich schieben, ohne groſse Anstrengung die Kraft von etwa 60 Pfund, und wenn es nöthig ist und sie sich weit vorbiegen, so steigert sich dieselbe leicht auf das Doppelte. Man kann sonach durch vier Mann einen Zug von 30 bis 60 Centnern ausüben, da aber theils durch längere Arme und theils durch Vermehrung der Mannschaft diese Kraft sich aufs Neue steigert, ohne die Maschine wesentlich zu verändern, so ergiebt sich hieraus die groſse Wirksamkeit dieses so leicht darzustellenden Apparates.

Das Material, woraus die Erdwinde gebaut wird, ist Eichenholz, die Durchsteckarme müssen aber nicht aus starken Stämmen ausgeschnitten sein, vielmehr aus schwachen Bäumen bestehn, die nur etwas beschnitten sind. Am besten ist es, hierzu junge Birkenstämme zu benutzen, die wegen ihrer Zähigkeit einem Bruche am wenigsten ausgesetzt sind. Man kann diese leicht auf 24 Fuſs verlängern, so daſs jeder einzelne Arm 12 Fuſs lang wird, und alsdann finden 16 Mann an der Winde Platz und können ihre volle Kraft der Spindel mittheilen, ohne daſs ein Bruch erfolgt.

Bei der in Rede stehenden Anwendung der Erdwinde zum Heben des Wuchtbaumes braucht man jedesmal nur etwa 5 Umdrehungen zu machen, alsdann wird die Winde, wenn der Wuchtbaum sinkt, auch wieder zurückgedreht und dieses wiederholt sich immer

in gleicher Art. Man kann deshalb in diesem Falle denjenigen Arbeiter, der das hintere Ende des Taues hält, entbehren, indem man dieses Ende an die Spindel annagelt, alsdann ist es aber zweckmäsig, eine cylindrische Spindel zu benutzen, wodurch man den Vortheil erreicht, dafs der nöthige Druck gegen die Durchsteckarme unverändert derselbe bleibt. Hierbei kommt noch der Umstand in Betracht, dafs, wenn die Winde für mehrere Pfähle stehn bleibt, das Tau nicht immer die passende Länge hat. Man mufs alsdann den Wuchtbaum jedesmal an eine andre Stelle des Taues befestigen, und das übrigbleibende Ende des letzteren auf den Wuchtbaum legen, oder es mit einer dünnen Leine an den Haken binden.

In neuerer Zeit benutzt man vielfach gufseiserne Erdwinden, die sich von den vorstehend beschriebenen dadurch unterscheiden, dafs sie zwei Trommeln haben, welche mit einer Anzahl ringförmiger Rillen versehn sind, wie Fig. 256 auf Taf. XIX zeigt. Bei gleichen Durchmessern haftet auf diesen beiden Trommeln das Tau eben so fest, wie auf einer einzelnen, es tritt dabei aber der grofse Vortheil ein, dafs die Arbeit nicht durch das Schrecken unterbrochen werden darf. Die Achse der eigentlichen Erdwinde, woran die Zugbäume angebracht sind, befindet sich an dem mittleren Getriebe, welches beide Trommeln gleichmäfsig und in derselben Richtung dreht. Der Arbeiter, der das abgewundene Tau in Spannung versetzt, kann auch hier nicht entbehrt werden. Dabei wäre noch zu bemerken, dafs man die Rillen beider Trommeln etwas genauer einander gegenüberstellen kann, wenn man die Achsen der letzteren in entgegengesetztem Sinne ein wenig neigt.

Die Anwendung des Wuchtbaumes zum Ausziehn der Pfähle wird besonders in dem Falle sehr schwierig, wenn einzelne Pfähle in tiefes Wasser gerammt sind und sonach kein fester Stützpunkt für den Hebel vorhanden ist. Wenn man nicht starke Rüstungen bauen will, so ist man auf die Benutzung von Schiffen oder kleineren Fahrzeugen hingewiesen. Die Art, wie diese zum vorliegenden Zwecke gebraucht werden, verdient eine nähere Auseinandersetzung, da namentlich leicht eingerammte Rüstpfähle hierdurch sehr bequem gehoben werden können.

Dafs man auch auf Schiffen den Wuchtbaum benutzt, ist keineswegs ohne Beispiel, doch mufs man dabei vermeiden, einen einzelnen Theil des Fahrzeuges einer zu starken Belastung auszusetzen,

auch erschwert das verschiedenartige Eintauchen, welches hierbei eintritt, die Arbeit aufserordentlich. Das Heben der Pfähle mittelst Winden kann ohne Umstände auch von Fahrzeugen aus geschehn und zwar um so leichter, als diese gewöhnlich schon mit kräftigen Windevorrichtungen zum Heben der Anker versehn sind. In dieser Art wurden, wie bereits erwähnt, die alten Rostpfähle beim Hafenbau in Amsterdam fortgeschafft. Wenn man aber dieses Mittel anwendet, so ist man immer nur auf diejenige Kraft beschränkt, welche die Windevorrichtung selbst auszuüben im Stande ist, und diese genügt gemeinhin nicht, um fest eingerammte Pfähle zu heben. Man kann indessen einen sehr starken Zug hervorbringen, wenn man den hydrostatischen Druck, den ein grofses Fahrzeug erfährt, zum Ausziehn des Pfahles benutzt. Belastet man nämlich ein Schiff, so dafs es recht tief eintaucht, und befestigt alsdann an einer angemessenen Stelle desselben die um den Pfahl geschlungene Kette, so wird das Schiff, sobald die Ladung herausgenommen ist, mit grofser Kraft den Pfahl aufwärts ziehn und denselben heben. Am einfachsten macht sich dieses, wenn man das Schiff voll Wasser laufen läfst und letzteres darauf auspumpt, in ähnlicher Art, wie bei Amsterdam mittelst der sogenannten Kameele die sehr tief gehenden Schiffe gehoben wurden. Man kann hierbei auch die Abwechselung des Wasserstandes benutzen, die in Folge der Ebbe und Fluth in bestimmten Perioden sich wiederholt. Auf solche Art sah ich bei Hamburg Pfähle ausziehn. Es wurden nämlich zwei Kähne zu beiden Seiten des Pfahles gestellt, durch eine starke Balkenrüstung mit einander verbunden, um die Last möglichst gleichmäfsig zu verbreiten und hieran zur Zeit des niedrigsten Wasserstandes der Pfahl befestigt. Sobald das Wasser zu steigen begann, so äufserte sich der hydrostatische Druck desselben gegen die Kähne, die sich erst hoben, wenn bei dem zunehmenden Drucke der Pfahl nachgab. Dieses Verfahren dürfte sehr vortheilhaft scheinen, da man eine Naturkraft benutzt, welche keine Kosten verursacht. Der Gewinn ist aber in der That nicht grofs, denn zunächst ist der Zeitverlust sehr unangenehm, da man in einem Tage mit dem kostbaren Inventarium, nämlich mit zwei Schiffen, höchstens zwei und gewöhnlich sogar nur einen Pfahl heben kann. Sodann aber sind die Kosten eben wegen der Schiffsmiethe auch bedeutend, und es tritt noch die Gefahr hinzu,

dafs der Pfahl nicht sobald nachgiebt und die Fahrzeuge wegen der ungleichmäfsigen Belastung leiden.

Wenn nur leicht eingerammte Rüstpfähle ausgezogen werden sollen, so genügen hierzu schon grofse Seeböte, indem man die Zugkette an das vordere Ende befestigt, wo das Boot wegen des vollen Busens am meisten trägt. Davy beschreibt eine Vorrichtung dieser Art. Es wird nämlich auf dem Boden eines solchen Bootes der Länge nach eine Eisenbahn angebracht, worauf ein Wagen steht, der eine bedeutende Last trägt, und zwei Winden sind aufgestellt, mittelst deren man den Wagen von einem Ende nach dem andern ziehn kann. Man schiebt ihn zunächst nach vorn und bringt die um den Pfahl geschlungene Kette über das Spill oder die horizontale Winde und zieht die Kette steif an. Alsdann bringt man den Wagen ans hintere Ende des Fahrzeuges, wodurch das vordere Ende vom Wasser aufwärts gedrückt wird. Sobald der Pfahl nachgegeben hat, schiebt man den Wagen wieder nach vorn, zieht die Kette von Neuem an und so fort.

Ein ähnliches Verfahren habe ich zum Ausziehn der Rüstpfähle in tiefem Wasser vielfach angewendet. Zum Bauinventarium gehörte ein fest gebautes Fahrzeug, das ursprünglich zu einem englischen Ballastbagger bestimmt war. Ich liefs in dieses eine Last Ballast hineinbringen und bemannte es mit etwa sechs Arbeitern. Der Ballast lag Anfangs ganz vorn und sonach neigte sich das Fahrzeug auch in dieser Richtung stark über. In dieser Stellung wurde die Kette am Spill steif angezogen, alsdann mufsten die Leute den Ballast an das hintere Ende werfen, wobei gewöhnlich schon der Pfahl sich hob, noch ehe die ganze Last versetzt war, und wenn dieses nicht geschah, so liefs ich den Zug dauernd ausüben, während die Leute anderweitig beschäftigt wurden. Nachdem der Ballast einige Male umgeworfen und dabei die Kette immer von Neuem angezogen war, so hatte der Widerstand des Pfahles sich so sehr vermindert, dafs das Umlegen des Ballastes umgangen werden konnte. Wenn in solcher Weise die sämmtlichen Pfähle gelöst waren, so wurde der Ballast fortgeschafft, wodurch das Fahrzeug eine gröfsere Beweglichkeit erhielt, und statt des Ballastes benutzte ich nunmehr nur das Gewicht von etwa zwölf Arbeitern. Diese mufsten sich zuerst möglichst weit nach vorn stellen und nachdem die Kette des Pfahles angezo-

gen war, gingen sie nach hinten, worauf der Pfahl sich wieder hob, die Kette wurde aufs Neue steif gezogen und so fort. Der Pfahl wurde hierdurch sehr schnell so lose, daſs er bald mit der Ankerwinde ausgezogen werden konnte.

§. 42.
Darstellung der Baugrube.

Wenn man bei der Aufstellung eines Bauprojectes sich für eine gewisse Fundirungsart entschieden und die Lage und Ausdehnung des Fundamentes bestimmt hat, so ergiebt sich hieraus die erforderliche Gröſse der Baugrube, sowie auch die Tiefe, in welcher dieselbe ausgehoben werden muſs. Gemeinhin darf man das Aufgraben nicht weiter als bis zur untern Grundfläche des Fundamentes ausdehnen, und nur bei Pfahlrosten wird man, um die Pfähle mit Zapfen versehn und die Rostschwellen aufbringen zu können, die Vertiefung etwas unter den eigentlichen Rost herabtreiben, da jedoch auch dieser untere Raum nicht mit der ausgegrabenen Erde wieder verschüttet, sondern entweder mit einem festen Thonschlage oder mit Mauerwerk ausgefüllt wird, so kann man letzteres schon als einen Theil des Fundamentes betrachten, und sonach wird selbst in diesem Falle die Baustelle bis zu der Tiefe aufgegraben, wo das Fundament beginnt. Die Länge, sowie die Breite der Baugrube, muſs jedesmal gröſser als die des eigentlichen Fundamentes sein, und namentlich ist dieses nothwendig, wenn bei der Fundirung bedeutende Rammarbeiten vorkommen, weil diese durch eine starke Beschränkung des Raumes erschwert werden. Man muſs aus dem Grundrisse entnehmen, wie weit die Baugrube zu erweitern ist, um jeden einzelnen Pfahl bequem einrammen und zugleich die übrigen erforderlichen Apparate, wie etwa die Wasserhebungsmaschinen, Wuchtbäume, Böcke, Rüstungen und dergleichen aufstellen zu können. Bei ausgedehnten Fundirungen wird man mindestens einen freien Raum von 5 Fuſs gebrauchen, der sich in der Sohle der Baugrube rings um den Rost herumzieht, doch fehlt es nicht an Beispielen, daſs man ihn auch viel gröſser gewählt hat und namentlich hat dieses Perronet jedesmal gethan. Eine zu groſse Erweiterung der Baugrube hat aber

den Nachtheil, dafs der Zudrang des Wassers auch in demselben Maafse sich zu vermehren pflegt, wodurch nicht nur die Kosten für das Schöpfen vergröfsert, sondern auch der Baugrund verdorben wird. Um einen sehr starken Wasserzudrang zu verhindern, ist es nicht ungewöhnlich, dafs man die Baugrube in mehrere Theile zerlegt. Jede einzelne Abtheilung läfst sich alsdann durch Anwendung der sämmtlichen vorhandenen Schöpfmaschinen leichter trocken legen. Es zeigt sich hierbei indessen der Uebelstand, dafs zwischen den verschiedenen Theilen des Fundamentes kein gehöriger Verband dargestellt werden kann und dieses ist besonders bei solchen Bauwerken bedenklich, von denen man eine vollständige Wasserdichtigkeit verlangt. Dieses wäre z. B. bei den Schiffsschleusen der Fall, wo man eine Trennung des Grundbaues gern vermeidet. Bei andern Bauwerken, die aus vollen Mauermassen bestehn, und wo man von dem Fundamente mehr die sichere Unterstützung des darüber gestellten Baues als Wasserdichtigkeit erwartet, kann eine solche Trennung von keinem wesentlichen Nachtheile sein, und häufig bringt die Anordnung des ganzen Baues es schon mit sich, dafs die tragenden Theile nicht unmittelbar neben einander liegen und sonach besondere Fundamente erhalten müssen, wie dieses z. B. bei gröfsern Brücken fast immer geschieht.

Zu der Theilung der Baugrube giebt zuweilen auch der Umstand Veranlassung, dafs man nicht auf einmal den Bau in seiner ganzen Ausdehnung ohne Störung der Communication oder Hemmung eines Wasserlaufes in Betrieb setzen kann. Um hiervon ein Beispiel anzuführen, so ist zu erwähnen, dafs bei der Brücke zu Moulins über den Allier, wo die sämmtlichen Pfeiler eine zusammenhängende Fundirung erhielten, eine Trennung in der Art vorgenommen wurde, dafs man das Bette des Flusses erst auf die eine und alsdann auf die andere Seite verlegte.

Die Wände der Baugrube dürfen nur in dem Falle, wenn der Boden aus Felsen besteht, sich senkrecht erheben, sonst müssen sie diejenige Neigung erhalten, in welcher die Erde sich noch sicher trägt. Die Vorausbestimmung dieser Neigung ist insofern oft schwierig, als manche Erdarten viel fester zu sein scheinen, als sie wirklich sind. Namentlich findet dieses bei gewissen Gattungen von Thon statt, die beim ersten Abstechen sich beinahe senkrecht und oft sogar überhängend erhalten, die aber, wenn sie längere Zeit hindurch

a ist die Ansicht von der Seite und *b* von oben. Eine Rinne von 32 Fuſs Länge, 1 Fuſs Breite und 1 Fuſs Höhe, deren beide Enden aufwärts gebogen sind, schwingt um eine horizontale Achse in der Mitte. Dieser Trog wird abwechselnd auf einer und der andern Seite ins Wasser herabgedrückt und es öffnen sich alsdann die beiden im Boden befindlichen Ventile, wodurch der Trog sich mit Wasser füllt. Wird er darauf in die entgegengesetzte Stellung gebracht, wobei das Wasser auf der andern Seite einflieſst, so wird die erste Wassermasse nach der Mitte der Rinne geschleudert, und hier hemmt eine feste Zwischenwand ihre fernere Bewegung und zwingt sie, seitwärts nach einer gemeinschaftlichen Rinne abzuflieſsen. Ueber den Effect dieses Troges führt Perronet an, daſs an jeder Seite zehn Mann angestellt waren, die mittelst Leinen wie an einer Ramme zogen, sie machten in der Viertelstunde 150 Stöſse und hoben durchschnittlich jedesmal 4 Cubikfuſs Wasser 3 Fuſs hoch. Eine so langsame Bewegung war nothwendig, weil man nach jedem Stoſse das vollständige Abflieſsen des Wassers abwarten muſste. Indem diese Maschine viel Raum einnahm, das Wasser in starke Bewegung versetzte und nur einen geringen Nutzeffect ergab, so wurde sie bald beseitigt, und dafür das Ausschöpfen mittelst Handeimern gewählt. Beim einfachen Wipptroge flieſst das Wasser über die Drehungsachse ab. Derselbe ist mehrfach bei Bauten versucht, doch dürfte er noch weniger, als der doppelte Trog zu empfehlen sein, da bei ihm das Gegengewicht ganz fehlt und durch unmittelbares Anheben ersetzt werden muſs.

Das Schneckenrad, welches schon von Vitruv beschrieben wird (tympanum), besteht wie Fig. 250 *a* im Durchschnitt zeigt, aus einer groſsen Anzahl langer, gekrümmter Zellen, die bei der Drehung des Rades durch Oeffnungen im Umfange desselben (Fig. 250 *b*) Wasser aufnehmen, und indem sie sich erheben, dieses bis in die Nähe der Achse flieſsen lassen, wo es durch eine weite Röhre seitwärts abflieſst. Es muſs bemerkt werden, daſs dieses Rad im Gegensatze zu den übrigen auf Taf. XVIII dargestellten Schöpfrädern in solcher Richtung gezeichnet ist, daſs sein Umfang an der rechten Seite ansteigt und an der linken niedersinkt. Mit dem Schneckenrade kann das Wasser nur zu einer Höhe gehoben werden, die bedeutend geringer als der Radius ist, dabei erfolgt, indessen kein überflüssig hohes Heben und die Bewegung ist sanft

Eine Ausnahme macht der grobe Kies oder Steinschutt, der noch unter einem Winkel von 45 Graden aufgeschüttet werden kann.

Indem die frische Erde durch längere Berührung mit der Luft die Eigenschaften verliert, wodurch sie Anfangs sich so steil erhalten konnte, so wird man, wenn die Baugrube lange geöffnet bleiben soll, den Wänden nur die Neigung von 36 bis 30 Graden, oder die $1\frac{1}{2}$- bis $1\frac{3}{4}$fache Anlage geben dürfen. Gemeinhin begnügt man sich indessen, den Neigungswinkel zu 45 Graden anzunehmen und oft macht man ihn noch gröſser.

Mitunter ist es in ähnlicher Art, wie bereits bei Gelegenheit der Ausführung der Brunnen und Entwässerungsgräben bemerkt worden, nicht möglich, die Baugrube in einer gewissen Tiefe darzustellen und sie zugleich vom Wasser frei zu halten, indem letzteres beim starken Zudrange immer die Erde mit sich reiſst und die Grube von Neuem anfüllt. In diesem Falle muſs man eine andre Fundirungsart wählen, wobei die Trockenlegung der Baugrube ganz vermieden wird, oder doch nicht früher eintreten darf, als bis der Boden sicher überdeckt ist. Die nöthige Vertiefung läſst sich alsdann aber nicht durch Graben darstellen, sondern muſs durch Baggern bewirkt werden. Von diesen Fundirungsarten wird später die Rede sein.

Gewöhnlich läſst man die Seitenwände der Baugrube nicht ohne Unterbrechung bis zur Sohle herabreichen, sondern bringt dazwischen in verticalen Abständen von etwa 6 Fuſs noch Bankete von 4 bis 6 Fuſs Breite an. Durch diese wird die Neigung der Wände noch mehr ermäſsigt, und man erreicht sonach eine um so gröſsere Sicherheit gegen das Einstürzen der Dossirungen. Dabei treten zugleich andere Vortheile ein, wenn nämlich hin und wieder einzelne Theile in den Wänden nachgeben und herabfallen, so stürzen sie nicht mehr bis auf die Sohle der Grube, sondern bleiben auf dem nächsten Banket liegen. Auch kann man diese Bankete sehr zweckmäſsig zum Aufstellen von Utensilien und Materialien benutzen, und dadurch der Baugrube etwas mehr Räumlichkeit geben, doch muſs man sich hüten, zu groſse Lasten darauf zu bringen, weil die Bankete sonst unter denselben nachgeben. Eben so darf auch diejenige Erde, welche zur späteren Ausgleichung des Bodens in der Nähe der Baugrube abgelagert wird, nicht unmittelbar am Rande der letzteren hoch aufgeschüttet werden, weil

dadurch gleichfalls die Dossirung gefährdet, oder wenn das Material aus Sand besteht, dieser herabgeweht werden könnte. Diejenige Erde aber, die später nicht gebraucht wird, muſs man sogleich an die dafür bestimmten Stellen schaffen, um das mehrfache Auf- und Abladen zu vermeiden.

Ueber die vortheilhafteste Anordnung der Erdarbeiten wird bei Gelegenheit des Canalbaues die Rede sein, hier wäre nur in Bezug auf die Erdtransporte Einiges zu erwähnen. Beim Ausheben einer Baugrube sind nämlich häufig bedeutende Erdmassen zwischen denselben Punkten zu bewegen, während bei Canälen und andern ausgedehnten Anlagen die zu transportirende Erde von verschiedenen Stellen entnommen und immer an andere Stellen gebracht wird, die meist weit von einander entfernt liegen. Im vorliegenden Falle ist daher eine Erleichterung des Erdtransportes insofern zulässig, als die betreffenden Vorrichtungen für die ganze Dauer dieser Arbeit gebraucht werden, ohne daſs man sie verstellen darf. Dabei ist noch der Umstand von Wichtigkeit, daſs gewöhnlich das Material stark gehoben werden muſs. Wollte man dieses dadurch bewirken, daſs man die Pferde unmittelbar vor die Wagen spannt, so würde deren Leistung viel geringer ausfallen, weil das Pferd nicht nur die eigentliche Ladung nebst dem Wagen ziehn, sondern auch jedesmal sein eigenes Gewicht heben muſs. Es ist daher passender, durch einen Pferdegöpel oder eine Dampfmaschine die Wagen bis zu der Stelle der Bahn heraufziehn zu lassen, wo die starke Steigung aufhört. Auſserdem muſs dafür gesorgt werden, daſs die hin- und hergehenden Wagen einander nicht hindern, auch das Aufladen keine Unterbrechung leidet, und überhaupt der ganze Betrieb recht regelmäſsig erfolgt.

Wird die Erde in Handkarren heraufgeschoben, so läſst sich dabei insofern eine Erleichterung einführen, als man die gleichzeitig heraufgehende beladene Karre mit der herabgehenden durch ein über eine Rolle gezogenes Tau verbindet. Der herabgehende Arbeiter, der sonst die Karre nur zurückhalten würde, schiebt sie alsdann gleichfalls mit einer gewissen Kraft vor sich, und trägt dadurch mit dazu bei, die volle Karre hinauf zu schaffen. Auf englischen Baustellen habe ich diese Anordnung wiederholentlich gesehn, und zwar hatten alsdann die Bahnen sehr steile Steigungen.

Daſs die Anlage leichter Eisenbahnen groſse Vortheile

bietet, darf kaum erwähnt werden, die Beschreibung derselben in ihrer gewöhnlichen Anordnung gehört zwar nicht hierher, doch will ich die Construction einer solchen Bahn und der dazu gehörigen Wagen mittheilen, die ich im Jahre 1828 in Pillau aus dem dort vorräthigen Material zusammenstellte und mehrere Jahre hindurch vortheilhaft benutzte. Fig. 230 *a* und *b* zeigt diese Bahn in der Ansicht von der Seite und von vorn. Ein vierzig Fuſs langer kieferner Balken war der Länge nach durchschnitten und beide Stücke waren durch vier Riegel und drei Schraubenbolzen zu einem festen Rahmen verbunden, der die Bahn bildete. Die oberen Kanten waren gebrochen, um die schmale Fläche darzustellen, welche die eiserne Schiene trug. Das Gewicht eines solchen Bahntheiles war nicht viel gröſser, als das eines 40 Fuſs langen Balkens, es lieſs sich bequem auf einem zweirädrigen Wagen transportiren und eine groſse Erleichterung für weitere Transporte lag noch darin, daſs der Rahmen im Wasser schwamm und die Benetzung ihm auch nicht schadete. Von diesen Bahnen wurden nach Umständen zwei bis vier zusammengesetzt und die groſse Stärke des Holzes erlaubte es, die Unterstützungen in weiten Entfernungen anzubringen. Am deutlichsten zeigte sich dies beim Löschen der Steine: ich legte ein Ende einer solchen Bahn auf das Fahrzeug, worin die Steine angeliefert wurden und das andre auf die Rüstung am Ufer, woher der Rahmen fast in seiner ganzen Länge frei lag, und doch gingen Steine darüber, die bis 30 Cubikfuſs hielten. Dabei gab sich noch der groſse Vortheil zu erkennen, daſs ein geringes Schwanken des Schiffes bei mäſsigem Wellenschlage nicht das sanfte Aufstellen des Steines auf den Wagen verhinderte, denn der Wagen nebst demjenigen Ende der Bahn, worauf er stand, machte alle Schwankungen des Schiffes mit, und so wurde das Löschen der Steine nicht leicht durch ungünstige Witterung unterbrochen. Sodann konnten mittelst dieser Bahn, wenn ihr Ende über ein Bohlwerk etwa 6 Fuſs weit vortrat, auch Fahrzeuge beladen werden, ohne daſs man für eine besondere Unterstützung des überstehenden Endes sorgen durfte.

Die Zusammensetzung des Wagens richtete sich nach der Form und Gröſse der guſseisernen Scheiben, die zufälliger Weise zum Hafenbau-Inventarium gehörten. Von denjenigen Einrichtungen, die man heut zu Tage bei Eisenbahnwagen anwendet, konnte damals

und unter den dortigen Verhältnissen nicht die Rede sein. Alles mufste so angeordnet werden, dafs es sich ohne grofse Kosten durch einen gewöhnlichen Schmid ausführen liefs. Die Achsen bestanden aus Eisenstangen von quadratischem Querschnitt, die $1\frac{1}{2}$ Zoll breit und hoch waren, die cylindrischen Ansätze, um welche sich die Räder drehten, hatten $1\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser. Diese Achsen waren in zwei Stücke Eichenholz von 4 Zoll Breite und Höhe eingelassen und zwei Langbäume von denselben Dimensionen verbanden sie miteinander. Vier Schraubenbolzen gaben dem so gebildeten Rahmen die nöthige Festigkeit und griffen zugleich durch die Achsen hindurch. Die Spurweite des Wagens maafs $2\frac{1}{2}$ Fufs. Ich versuchte zuerst den Wagen nur auf einer Holzbahn, also ohne eiserne Schienen gehn zu lassen, wo sich schon eine merkliche Erleichterung gegen die gewöhnlichen Erdwagen zeigte, denn ein mit 20 Cubikfufs Sand oder Kies beladener Wagen konnte bequem durch zwei Arbeiter fortgeschoben werden. Sobald indessen feuchte Witterung eintrat, so nahm der Widerstand sehr merklich zu und alsdann trat auch eine starke Abnutzung der Bahn ein. Hiernach war die Anwendung von Schienen nicht zu umgehn. Ich versuchte zuerst zu denselben ganz schwaches Bandeisen anzuwenden, welches 1 Zoll breit und noch nicht voll 1 Linie stark war. Den erwähnten Uebelständen wurde hierdurch auch vorgebeugt, aber es zeigte sich die eigenthümliche Erscheinung, dafs durch gröfsere Lasten, die darüber gingen, die Schienen förmlich ausgewalzt wurden. Dieselben lagen nämlich, wenn die Bahn nicht gebraucht wurde, ziemlich gespannt auf dem Rahmen, sobald aber der Wagen schwer beladen darüber gezogen wurde, so erhoben sich die Schienen vor den Rädern und bildeten wellenförmige Krümmungen, die vor dem Wagen herliefen und gewöhnlich die sämmtlichen Nägel, womit sie befestigt waren, gewaltsam herausrissen, so dafs diese oft hoch in die Luft flogen. Als ich später den Schienen die Stärke von $1\frac{1}{2}$ Linien oder $\frac{1}{8}$ Zoll gegeben hatte, verschwand auch dieser Uebelstand, und nur beim Lossen sehr grofser Steine, wo der Einflufs der starken Einbiegung der Bahn auch schon merklich werden mochte, gab sich zuweilen dieselbe Erscheinung wieder zu erkennen. Die Schienen hatten die Breite von 1 Zoll und der laufende Fufs wog $\frac{1}{2}$ Pfund.

Wenn der Wagen zum Steintransport benutzt werden sollte, so durften nur einige Lagerhölzer darauf gelegt, oder leicht befestigt

werden, wenn dagegen Erde oder Sand und Kies damit verfahren wurde, so war es nöthig, für ein leichtes Entleeren des Kastens zu sorgen. Der Kasten hatte die Gestalt eines Trichters und war aus einzölligen Brettern, die in den Kanten gegen Leisten genagelt waren, zusammengesetzt. Am Boden hatte er eine Oeffnung, die mittelst einer beweglichen Klappe geschlossen wurde. Letztere war an der einen Seite durch zwei Charniere oder Bänder befestigt, und die untern Arme derselben verlängerten sich bis auf die andere Seite, wo sie in Oesen ausgingen. Hier waren die Leinen angesteckt, womit man die Klappe heben und herablassen konnte. Die Figuren zeigen die ganze Einrichtung. Die Bodenklappe ist in ähnlichen Fällen schon häufig benutzt worden, doch giebt man ihr immer eine andere Einrichtung, und hebt und schliefst sie gewöhnlich durch Griffe und Haken, die durch Federn angedrückt werden. Es treten jedoch dabei manche Uebelstände ein: der Arbeiter mufs sich nämlich bücken und mit der Hand die Klappe aufheben, ferner ist ein recht scharfes Anziehn der Klappe dabei nicht möglich, und endlich wird dieselbe durch den Haken nur an einem Punkte unterstützt, woher sie leicht durchbiegt. Bei der hier gewählten Einrichtung ist das Verfahren sowohl beim Oeffnen, als beim Schliefsen sehr einfach und bequem und die Klappe kann jedesmal scharf angezogen werden. Zwei Leinen, die an die Arme der Charniere befestigt sind, gehn durch gehörig weite Einschnitte zwischen dem erwähnten Rahmen und dem Kasten hindurch und sind über zwei Klampen geführt, welche seitwärts auf den letzten genagelt sind. Die Gestalt dieser Klampen, welche man Hornklampen nennt, wenn sie wie hier nur einen aufwärts gerichteten Arm haben, ergiebt sich aus den beiden Figuren. Sie dienen zum scharfen Anziehn und Befestigen der Taue auf Schiffen, wo sie allem laufenden Tauwerk die nöthige Haltung geben. Einige Reibung verursachen sie freilich, doch kommt es im vorliegenden Falle hierauf nicht an. An die eine Leine ist ein kleiner Block befestigt und um denselben ist die andere Leine gezogen. Sobald man das lose Ende der letzten anzieht, so wird die Klappe auf beiden Seiten gehoben. Hat man aber jenes Ende scharf angezogen und die Klappe genau geschlossen, so giebt die Klampe Gelegenheit, die Leine mit der vollen Spannung zu befestigen. Fig 230 *a* zeigt die sehr einfache Befestigungsart der Leine, man fafst nämlich von ihrem losen Ende eine Schleife, und zieht diese unter der Leine möglichst

weit auf die Klampe. Alsdann bedrückt die stark gespannte Leine selbst das untere Ende und die Verbindung kann sich nicht lösen, bis man an dem losen Ende zieht und die Schleife hervorreifst. Wenn der Arbeiter die Klappe wieder heben und befestigen will, nachdem der Inhalt des Kastens herausgefallen ist, was in der Zeit von einigen Secunden geschieht, so zieht er die Leine, die er in der Hand behalten hat, wieder an und versteckt das Ende derselben in der erwähnten Art, alsdann ist der Wagen sogleich zur Aufnahme der neuen Füllung vorbereitet.

§. 43.
Umschliefsung der Baugrube.

Indem das Verlegen der Roste, das Aufbringen der Fachbäume, so wie auch viele andre Arbeiten bei der Fundirung sich nur nach Trockenlegung der Baugrube ausführen lassen, diese aber nicht selten in dem Flufsbette selbst, oder in einer gröfseren Wasserfläche sich befindet, so mufs sie durch eine wasserdichte Wand getrennt werden. Dergleichen Wände, die oft nur in Dammschüttungen bestehn, jedesmal aber nach Beendigung des Baues wieder beseitigt werden, nennt man Fangedämme. Bevor ich zur Beschreibung derselben übergehe, mag einer Vorkehrung gedacht werden, wodurch man, ohne die ganze Baugrube zugänglich zu machen, den jedesmaligen Abschlufs nur auf einen sehr kleinen Theil derselben beschränkt, um einzelne unter Wasser befindliche Verbandstücke zur Verbindung mit andern vorzubereiten. Auch in der Taucherglocke ist dieses vielfach geschehn, von der jedoch erst später die Rede sein kann.

Beim Bau verschiedner Eisenbahn-Brücken in den Niederlanden wurden wasserdichte hölzerne Kasten benutzt, die im Boden mit einer Oeffnung versehn waren, durch welche der Rostpfahl, wenn sie schwimmend darüber geschoben und gesenkt waren, hineindrang. Nach Verschliefsung der Fuge rings um den Pfahl konnten sie ausgepumpt werden, und so war es möglich bis zur Tiefe von $2\frac{1}{2}$ Fufs unter Wasser an den Rostpfahl einen regelmäfsigen Zapfen anzuschneiden, der in die später darauf zu bringende Schwelle eingriff.

Der Kasten war 6 Fufs lang, 4 Fufs breit und 3 Fufs hoch, und wie ein Prahm zusammengesetzt und abgedichtet. Fig 257 auf Taf. XIX zeigt ihn im Querschnitt. In der Mitte seines Bodens befand sich eine Oeffnung von solcher Gröfse, dafs jeder abzuschneidende Pfahl mit hinreichendem Spielraum darin eindringen konnte. Um den Rand dieser Oeffnung war ein leinener Sack genagelt, der im untern Theile mit Leder gefüttert war. Vor dem Versenken des Kastens schlang man eine Leine einmal lose um den Sack, dieselbe war aber, wie die Figur zeigt, über zwei Rollen geleitet, so dafs man sie von oben scharf anziehn konnte.

Der Kasten wurde über den Pfahl gebracht, durch eingelegte Gewichte bis gegen seinen obern Rand gesenkt, und nunmehr der Zwischenraum zwischen dem Sack und dem Pfahl nahe über dem Boden möglichst dicht mit Werg gefüllt, was bei beschlagenen Pfählen nicht leicht war. Indem hierauf die beiden Enden der Leine scharf angezogen und befestigt wurden, so hatte man den wasserdichten Abschlufs vollständig dargestellt und man konnte den Kasten auspumpen, wobei man jedoch sehr vorsichtig immer die nöthigen Gewichte einbringen mufste, um den Sack nicht einem zu starken Zuge auszusetzen, wobei er zerrissen wäre. Sobald der Kasten leer war, stiegen zwei Arbeiter hinein, zogen den obern Theil des Sackes herab und schnitten in der verlangten Höhe den Zapfen an. Der Ober-Inspector des Wasserstaates Herr F. W. Conrad spricht die Ansicht aus *), dafs man dieselbe Vorrichtung auch für gröfsere Tiefen benutzen und sie ohne Schwierigkeit so weit ausdehnen könne, dafs sich dadurch alle Zapfen, die auf eine Schwelle treffen, gleichzeitig anschneiden lassen.

Was die gewöhnlichen Fangedämme betrifft, so müssen sie das Wasser von der Baugrube möglichst abhalten, also wasserdicht, hinreichend hoch und so fest sein, dafs sie nicht nur dem Wasserdruck sondern auch dem Wellenschlage den nöthigen Widerstand leisten. In manchen Fällen dienen sie nur zur Sicherung der Baugrube gegen starke Durchströmung, ihre vollständige Wasserdichtigkeit ist alsdann entbehrlich, so wie sie auch keinem starken Wasserdrucke ausgesetzt sind.

Bei einem Fangedamme, der die Baugrube zur Seite umschliefst,

---

*) *Verhandelingen van het koninglijk Instituut van Ingenieurs.* 1848. *p.* 33.

ist zunächst die Höhe desselben zu bestimmen, indem von dieser seine Stärke und Constructionsart abhängt. Wenn die Wasserstände regelmäfsig beobachtet sind, so kann man aus den Tabellen ersehn, bis zu welcher Höhe die stärksten Anschwellungen steigen und welche Wasserstände man während der muthmaafslichen Dauer des Grundbaues erwarten darf. Bis über die höchsten Wasserstände, welche jemals vorgekommen sind, wird man niemals die Fangedämme aufführen, denn man wählt zum Grundbau immer diejenige Jahreszeit, wo die Anschwellungen selten und nicht bedeutend hoch noch auch lange anhaltend sind. Es kann freilich geschehn, dafs der Theil des Baues, für den man den Fangedamm gebraucht, in einem Sommer nicht beendigt wird und es sonach auch vortheilhaft wäre, wenn die Umschliefsung selbst die höchsten Winter- oder Frühjahrsfluthen abhalten könnte, da jedoch die Kosten eines Fangedammes im Allgemeinen nicht der ersten Potenz der Höhe, sondern dem Quadrate derselben proportional sind, und in der Regel selbst dieses Verhältnifs noch nicht genügt, so mufs man, um gar zu grofse Ausgaben zu vermeiden, solche aufserordentliche Fälle unbeachtet lassen, und sich darauf gefafst machen, sobald sie eintreten, die Arbeit einzustellen und den ausgeführten Theil des Werkes mit Wasser bedecken zu lassen.

Auf Baustellen neben Gewässern, die einem starken Fluthwechsel unterworfen sind, pflegt man die Fangedämme nur bis zum Mittelwasser aufzuführen. Die Arbeitszeit wird alsdann freilich auf wenige Stunden beschränkt, denn sobald das Wasser merklich steigt, füllt es die Baugrube wieder an. Der gröfste Theil der Hafenbauten in England kommt in dieser Art zur Ausführung, und wenn die vielfachen Unterbrechungen dabei auch sehr störend sind, so läfst sich doch nicht verkennen, dafs die regelmäfsige Wiederkehr des niedrigen Wasserstandes die Fundirung sehr erleichtert.

Gewöhnlich giebt man den Fangedämmen eine etwas gröfsere Höhe, als diejenigen Wasserstände erreichen, vor welchen man gesichert sein will. Die Stärke eines Fangedammes ist aber von seiner Höhe abhängig, und zwar ist es nicht nur nöthig, ihm bei gröfserer Höhe auch eine gröfsere Breite zu geben, sondern die ganze Construction mufs alsdann auch solider sein. Bei einer Höhe von wenigen Fufsen genügt es, den Erddamm ohne alle Holzwand aufzuschütten, doch lagert sich die Erde fester und läfst sich auch

besser stampfen, wenn man sie wenigstens gegen eine dichte Wand lehnt, die alsdann immer auf der innern Seite oder auf der Seite nach der Baugrube sich befindet. Hierher gehört der bereits erwähnte Fall, dafs man den für das Fundament bestimmten Raum mit einer Spundwand umgiebt und dieselbe von aufsen mit einem Thonschlage versieht. Statt der Spundwand kann man sich indessen auch einer Stülpwand (Fig. 220) bedienen, und wenn es nicht darauf ankommt, den Boden selbst zu comprimiren, um die etwa darin befindlichen Wasseradern zu schliefsen, so läfst sich die Rammarbeit merklich erleichtern, wenn man nicht die Bohlen so tief einrammt, dafs sie dadurch einen sichern Stand erhalten, sondern eine verholmte Pfahlreihe anbringt und jene dagegen lehnt. Hierbei wird die Bohlenwand häufig nicht senkrecht gestellt, sondern schräge und zwar mit einer Neigung von 30 bis 45 Graden gegen den Horizont auf den erwähnten Holm gelehnt. In diesem Falle lassen sich die Fugen der Wand noch durch darübergeworfenen Mist oder belaubte Zweige etwas dichten, so dafs die Erde nicht hindurchfällt. Man kann alsdann die Spundwand ganz entbehren, und selbst die Ueberdeckung der Fugen durch eine zweite Lage von Brettern oder die Anbringung der gestülpten Wand ist weniger nothwendig, ja es kommt sogar vor, dafs man nicht einmal Bohlen oder Bretter benutzt, sondern jene Wand nur aus Latten oder Stangen darstellt.

In dieser Art erbaute man am Zusammenflufs des Cure mit der Yonne Fangedämme, welche, wie Figur 231 *a* und *b* Taf. XVII in der Ansicht von vorn und von der Seite zeigt, einen Wasserstand von 9 Fufs abhielten *), doch war während ihrer Ausführung der Wasserstand bedeutend niedriger, weil sie sonst nicht darzustellen gewesen wären. Im Abstande von 7 Fufs von einander wurden schräge Böcke aufgestellt und darüber zwei Reihen Balken gelegt, welche die Holzwand trugen. Diese bestand nur aus Stangen, und um deren Fugen zu decken, legte man eine starke Lage belaubtes Strauch oder Stroh darüber und hierauf ruhte der wasserdichte Damm. Die Stützen in der Mitte jedes Bockes nebst den Bohlen, worauf sie standen, konnten aber erst angebracht und eingetrieben werden, nachdem das Wasser aus der Baugrube schon entfernt war.

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1832. *I. p.* 403. und in dem *Recueil de dessins, rélatifs à l'art de l'ingénieur.*

Es wird angeführt, dafs ein Fangedamm dieser Art in einer Länge von 64 Fufs in zwei Tagen dargestellt werden konnte.

Auch der wichtige Fangedamm, den Thunberg bei Carlscrona ausführte, wurde durch eine solche schräge Wand gebildet, die jedoch aus einer Spundwand und zwar mit der Fig. 201 angegebenen Spundung bestand. Dieser Fangedamm ist auf eigenthümliche Weise erbaut, indem in der Wassertiefe von einigen zwanzig Fufs das Gerüste des Dammes aufgestellt und verbunden wurde. Die Balken, welche den Längenverband bildeten, nagelte man tief unter Wasser auf Böcke, die vorher herabgelassen waren, und rammte alsdann die schräge Spundwand davor. Letztere wurde nur etwa bis zur halben Höhe mit Erde hinterfüllt, da sie an sich schon den wasserdichten Schlufs darstellen sollte. Nachdem dieser Fangedamm indessen durchbrochen war, führte man verschiedene Verstärkungen dabei ein. Dazu gehörte, das eine Menge Pfähle normal gegen die Spundwand eingerammt wurden, um diese sicher zu halten, und ausserdem baute man dahinter noch einen zweiten Fangedamm, damit jeder einzelne nur dem halben Wasserdrucke ausgesetzt wäre. *) Eine nähere Beschreibung übergehe ich, indem ähnliche Constructionen wohl keine Anwendung finden dürften, dieser Bau gehört aber wegen der künstlichen Anordnungen, die dabei gewählt waren, zu den interessantesten Werken, und es ist zu bedauern, dafs die Mittheilungen darüber so wenig klar sind.

Bei Bétonfundirungen stellt man häufig auch Fangedämme aus Béton dar, die im Zusammenhange mit dem Grundbette sogleich rings um dasselbe aufgeschüttet werden. Doch geschieht dieses nur, wenn der gröfste Theil solcher Dämme das Mauerwerk ersetzen soll, denn ohne diesen doppelten Zweck würden sie zu theuer ausfallen und aufserdem wäre ihre Fortschaffung unter Wasser auch zu schwierig.

Am häufigsten werden die Fangedämme in der Art construirt, das man zwei senkrechte Holzwände darstellt und den Zwischenraum mit Erde ausfüllt. Da die Erdschüttung vorzugsweise den wasserdichten Schlufs bewirken soll, so ist es nöthig, das sie auch die gehörige Breite erhält, aufserdem aber vermehrt sich durch eine gröfsere Breite auch die Masse des Dammes und trägt dadurch zu seiner Stabilität bei. Hierzu kommt noch, dafs die Fangedämme bei

---

*) *Essai de bâtir sous l'eau par J. Fellers.* Stockholm 1776.

einer beschränkten Ausdehnung der Baugrube zugleich zum Beischaffen von Materialien und Geräthschaften benutzt werden, weshalb sie nicht zu schmal sein dürfen. Bei niedrigen Fangedämmen ist die Breite gewöhnlich der Höhe gleich, wenn aber die Höhe 8 bis 9 Fufs übersteigt und sonach die Breite überflüssig grofs sein würde, so pflegt man sie in geringerem Verhältnisse als die Höhe wachsen zu lassen. Hiernach hat sich bei uns die Regel gebildet, dafs man bei einer Höhe von mehr als 8 Fufs die Breite des Fangedammes gleich der halben Höhe und 4 Fufs annimmt. In Frankreich ist man gewohnt, bei einer Höhe bis zu 9¼ Fufs die Breite der vollen Höhe gleich zu setzen, über diese Grenze hinaus läfst man aber die Breite nur um den dritten Theil der Mehrhöhe wachsen.*) In England betrachtet man die Fangedämme nicht als Theile des Baues, sie werden daher in die eigentlichen Bauprojecte auch nicht mit aufgenommen und es bleibt ihre Anordnung und Ausführung den Entrepreneuren überlassen.

Die gewöhnliche Construction der Fangedämme ist folgende: in zwei Reihen werden Pfähle in Abständen von 4 bis 5 Fufs eingerammt, die beiden Reihen sind aber so weit von einander entfernt, dafs, mit Rücksicht auf die dagegen zu lehnenden Bohlenwände, die Erdschüttung die vorstehend angegebene Breite erhält. Diese Pfähle müssen so fest im Grunde stecken, dafs sie nicht nur dem Drucke des Wassers Widerstand leisten, sondern, wenn es nöthig sein sollte, den losen aufgeschwemmten Grund innerhalb des Fangedammes auszubaggern, sie auch dadurch nicht ihren sichern Stand verlieren. Die beiden Pfahlreihen werden ferner in gleicher Höhe abgeschnitten, mit Zapfen versehn und mit Holmen überdeckt. Fig, 232 zeigt diese Anordnung im Querschnitte. Um jedoch den Fangedamm gegen ein Ausdrängen durch die einzubringende Erdschüttung zu sichern und zugleich seine beiden Wände mit einander zu verbinden, so werden in demselben Abstande, in welchem die Pfähle stehn, Querzangen angebracht, welche über beide Holme greifen. In Frankreich ist eine andere Construction üblich, man nagelt nämlich, wie Fig. 233 zeigt, an die äufsern Seiten der Pfähle Rahmen von Kreuzholz, und verbindet diese unter sich durch verkämmte Zangen. Häufig läfst man aber auch jene Rahmen fort,

*) Sganzin, *programme IV. édition. p.* 305.

indem schon die innere Verkleidung ihre Stelle vertritt, und man verbindet nur die gegenüberstehenden Pfähle in beiden Reihen durch doppelte und mit Schraubenbolzen zusammengezogene Zangen, wie Fig. 235 *a* und *b* in der Ansicht von oben und im Querschnitte zeigt. Eine solche Anordnung sah ich bei einem Fangedamm im Hâvre. In beiden Fällen ist die französische Constructionsart wohl der bei uns üblichen vorzuziehn, denn zunächst sichert sie die Wände vollständiger gegen ein Ausweichen, als dieses bei der Verbindung durch Zapfen möglich ist, und sodann werden die Pfähle auch nicht verschnitten und können nach Beseitigung des Fangedammes zu gleichem Zwecke wieder benutzt werden.

Bevor die Zangen zur Verbindung der beiden Pfahlreihen aufgebracht werden, muſs man schon die dichten Bohlenwände auf der innern Seite der Pfähle einsetzen, gegen welche die Erdschüttung sich lehnt. Das einfachste Verfahren ist, daſs man Bohlen horizontal an den Pfählen herabschiebt, da es jedoch bei gröſserer Wassertiefe nicht mehr möglich sein würde, die untern Bohlen zu halten, bevor die Füllung eingebracht ist, so verbindet man die einzelnen Bohlen schon vorher zu Tafeln, welche die ganze Höhe des Fangedammes haben, und bemüht sich, sie beim Einsetzen bis in den Grund herabzustoſsen, damit nicht groſse Fugen über dem natürlichen Boden offen bleiben. Zu diesem Zwecke ist es vortheilhaft, unmittelbar an der innern Seite der Pfahlreihen eine etwas vertiefte Rinne auszubaggern, deren Sohle möglichst eben ist. Die Tafeln werden, wie Fig. 232 zeigt, auf der innern Seite durch aufgenagelte Leisten verbunden, man muſs aber dafür sorgen, daſs die Stöſse zwischen je zwei Tafeln jederzeit auf Pfähle treffen und beide Enden sich noch sicher an diese lehnen. Um den Stoſs zwischen beiden Tafeln besser zu dichten und um zugleich ein Aufheben oder Umschlagen derselben zu verhindern, rammt man auch wohl über den Stoſs noch eine Bohle, wodurch die Tafeln an ihren Enden sicher gehalten werden.

Diese Anordnung läſst sich nur so lange anwenden, als der Wasserdruck nicht bedeutend ist; wenn derselbe gröſser wird, so kann man in vielen Fällen noch von den Stülpwänden vortheilhaft Gebrauch machen. Bei diesen schlieſst sich jede einzelne Bohle an die Unebenheiten des Grundes an und läſst sich in einen weichen Boden leicht eintreiben. Die erste Reihe der Bohlen er-

hält durch die zweite, welche die Fugen verdeckt, noch eine bedeutende Verstärkung und sonach darf man bei niedrigen Fangedämmen nicht besorgen, dafs die Bohlen sich ausbauchen. Bei gröfserer Höhe des Fangedammes mufs man durch Anbringung besonderer Riegel dafür sorgen, dafs die Bretterwände nicht zu stark durchbiegen und zu weite Fugen sich öffnen. Wenn gerade recht niedriges Wasser zur Zeit der Ausführung des Fangedammes stattfindet und die Wassertiefe nicht grofs ist, so genügt es, in der Höhe des Wasserspiegels noch eine Bohle oder ein Stück Halbholz gegen die Pfähle zu nageln, im entgegengesetzten Falle läfst sich ein solcher Riegel auch mittelst aufgenagelter Latten leicht bis zu jeder beliebigen Tiefe herabschieben und im Wasser erhalten. Indem es hierbei auf eine geringe Differenz in der Höhe nicht ankommt, so dürfen die Stöfse zwischen diesen Riegeln nicht gerade auf die Pfähle treffen, sondern es ist besser, ihnen dadurch eine sichere Haltung zu geben, dafs man sie noch über die Pfähle vortreten und gegenseitig an einander vorbeischiefsen läfst, so dafs sie eine etwas geneigte Lage erhalten. Wenn jedoch die Holme mit der innern Seite der Pfahlreihe bündig verlegt sind und man gegen diese wieder die Stülpwand lehnen wollte, welche weiter unterhalb um die Breite des vorgeschobenen Riegels von der Pfahlwand entfernt gehalten wird, so würde der Fangedamm unten schmaler als oben sein. Um dieses zu vermeiden, mufs man vor dem Holme oder wenig darunter noch einen zweiten Riegel von derselben Stärke, wie den untern, anbringen und beide als Lehren beim Einrammen der Stülpwand benutzen.

Wird endlich der Fangedamm etwa 12 Fufs hoch oder darüber, so mufs man zu seiner Verkleidung und namentlich auf der innern Seite, wo er nicht nur den Druck der eingeschütteten und festgestampften Erde, sondern aufserdem auch den des äufsern Wassers auszuhalten hat, eine Spundwand wählen. Bei derselben vermeidet man viel sicherer alle weit geöffnete Fugen, die sonst leicht bei tiefem Wasser vorkommen, aufserdem aber besitzt die Spundwand auch grofse Steifigkeit, und wenn vielleicht in ihr ein geringes Einbiegen eintreten sollte, so wird dieses nicht mehr in den einzelnen Bohlen stattfinden, sondern sich auf gröfsere Theile der Wand erstrecken und sonach kein nachtheiliges Oeffnen der Fugen zur Folge haben. Endlich ist noch die Anbringung der Spundwände,

und zwar auf beiden Seiten eines Fangedammes, insofern von Wichtigkeit, als dieselben mehrere Fufs tief im Boden stecken und man zwischen ihnen den Grund ausbaggern nnd auf solche Art den Fangedamm bis unter das natürliche Bett herabführen kann. Dieses Verfahren trägt bei einem kiesigen Grunde wesentlich zur Verminderung des Wasserzudranges bei, indem die Spundwand den Grund neben sich comprimirt und die Wasseradern sperrt. Bei sehr hohen Fangedämmen kann es indessen auch für die Spundwand noch bedenklich sein, ihr keine Unterstützung unterhalb des Holmes zu geben, und aufserdem wird das Einrammen derselben nicht ganz sicher, wenn die Zwinge weit über dem Boden sich befindet.

Perronet wandte zur Vermeidung dieser Uebelstände beim Bau der Brücke zu Neuilly ein Mittel an, welches eine nähere Beschreibung verdient. Fig. 233 zeigt den Querschnitt des daselbst benutzten Fangedammes und man bemerkt, dafs jede Spundwand von zwei doppelten Zwingen umfafst wird, von denen die untere mehr als 3 Fufs tief unter dem niedrigsten Wasserstande (der in der Figur angedeutet ist) sich befindet. Der Fangedamm besteht aus zwei Pfahlreihen, die von Mitte zu Mitte 10 Fufs von einander entfernt sind, und der Abstand der einzelnen Pfähle in jeder Reihe beträgt 4 Fufs. Die Pfähle hatte man unten bebrannt. In der Höhe von 5 Fufs 6 Zoll über dem niedrigsten Wasserstande sind auswärts an jede Pfahlreihe Rahmen genagelt, die 6 Zoll hoch und eben so stark sind. In den Stöfsen, die immer gegen die Pfähle treffen, greifen diese Rahmen mit 14 Zoll langen Blättern über einander. Auf diesen liegen die Zangen, die 8 Zoll hoch und 15 Fufs lang sind. An den Stellen, wo letztere die Rahmen kreuzen, sind sie 3 Zoll tief eingeschnitten, die Rahmen selbst haben aber auch hier ihre volle Stärke. Die Spundwände, welche gegen die Pfahlreihen gestellt werden sollten, bestanden aus einzelnen Theilen, von denen jeder 12 Fufs lang war und in folgender Art zusammengesetzt wurde. Indem man die beiden Paare der Zwingen und die beiden äufsern Spundpfähle durch Schraubenbolzen verband, so bildete sich ein verschiebbares Parallelogramm. Diese Spundpfähle, sowie alle übrigen, waren 4 Zoll stark und 21 Fufs lang, die Zwingen bestanden aus 4zölligen Bohlen von 9 Zoll Breite, hatten aber nicht die volle Länge von 12 Fufs, um sich nicht

gegenseitig zu berühren. Beim Zusammensetzen der Zwingen wurden die sämmtlichen zugehörigen Spundbohlen eingepafst. Man machte alsdann mit dem Einrammen der beiden äufsern Spundpfähle den Anfang, welche durch die angebolzten Zwingen mit einander verbunden waren, und daher sowohl oben als unten den bestimmten Abstand behielten. Man sorgte auch dafür, dafs die Enden der Zwingen sich gegen die Pfähle lehnten. Sobald auf diese Art eine Zwinge festgestellt war, so wurden die eingepafsten Spundpfähle hineingeschoben und eingerammt, man nahm jedoch darauf Rücksicht, dafs die mittleren am spätesten bis zur vollen Tiefe herabgeschlagen wurden, damit die äufsern weniger stark angegriffen und nicht etwa durch die Bolzen gespaltet werden möchten. Endlich blieb noch der Raum zwischen je zwei solchen Rahmen auszufüllen und dieses geschah, indem man passende Spundpfähle auch hier einrammte. Die letzten wurden gleichfalls durch die Zwingen gefafst, denn jede derselben trat noch einige Zoll weit vor und diente sonach zur sichern Führung des zuletzt eingebrachten Spundpfahles. Fig. 234 zeigt diese Anordnung. Zwischen den Spundwänden wurde der sandige und leichte Boden so tief ausgebaggert, bis man auf eine feste Erde kam, durch welche keine Filtration zu besorgen war.

Wenn der Fangedamm eine grofse Höhe hat und sonach auch sehr breit werden müfste, so gewährt die beschriebene Anordnung nicht mehr die nöthige Sicherheit, indem bei dem vermehrten Drucke des Wassers ein Durchquellen leichter eintreten kann. Man mufs daher eine Einrichtung wählen, wodurch die beim Füllen des Dammes vielleicht gebildeten undichten Stellen noch unterbrochen werden. Der sicherste Schlufs erfolgt vor einer dichten Wand, wenn die eingeschüttete und angerammte Erde sich in der Richtung des Wasserdruckes dagegen lehnt. Bei der beschriebenen Constructionsart geschieht dieses nur einmal, und dieses ist bei höheren Fangedämmen um so weniger genügend, als man in der gröfseren Tiefe nicht mehr auf die compacte Ablagerung der Erde hinwirken kann. Aus diesem Grunde trennt man den Damm der Breite nach in zwei, auch wohl in drei Theile. Es tritt hierbei noch der Vortheil ein, dafs für den obern Theil die halbe Stärke schon genügt und der eine Kasten nur etwa halb so hoch zu sein braucht. Will man ihm aber diese geringere Höhe geben, so mufs man den Wasserspiegel schon gesenkt haben, und hieraus folgt wieder, dafs

dieser niedrigere Theil auf der innern Seite des Dammes oder an der Baugrube sich befinden mufs. Man kann ihn alsdann auf dieselbe Art, wie ein Banket, in der abgestochenen Erdwand zum Aufstellen mancher Utensilien und Materialien und zur Erleichterung der Communication benutzen. Fig. 236 zeigt eine solche Anordnung. Man macht damit den Anfang, dafs man einen gewöhnlichen Fangedamm, jedoch nur von der halben Breite, die er seiner Höhe nach erhalten sollte, ausführt. Alsdann werden die Schöpfmaschinen in Thätigkeit gesetzt, und sobald der Wasserspiegel bis zur Höhe des nächstfolgenden Theiles des Dammes gesunken ist, so wird dieser genau in derselben Art, wie der erste, ausgeführt. Es tritt in der Construction nur die Aenderung ein, dafs man, um die innere Pfahlreihe des ersten Theiles wieder zu benutzen, die Zangen über dem zweiten Theile mit schwalbenschwanzförmigen Zapfen in jene Pfähle eingreifen läfst und mit Bolzen daran befestigt. Eine Strebe, die man zwischen jede solche Zange und den zugehörigen Pfahl mit Versatzung eintreibt, giebt noch eine kräftige Stütze gegen den Wasserdruck.

Bei solchen getheilten Fangedämmen beträgt die Höhe jeder Stufe 8 bis 12 Fufs. Indem man die Breite des Dammes in seiner Grundfläche nur so grofs macht, als oben angegeben ist, so tritt hierbei eine merkliche Verminderung des Quantums an Erde ein, welche man zur Füllung braucht. In manchen Fällen mag dieser Vortheil beachtenswerth sein, doch wird er die Mehrkosten für die dritte Wand nicht decken und sonach darf man nicht hoffen, auf diese Art den ganzen Fangedamm wohlfeiler darzustellen.

Die Fangedämme, die man in England ausführt, erhalten in dem Falle, wo sie sich bis über die höchsten Fluthen erheben, eine sehr grofse Höhe und ihre Construction wird dadurch zwar schwierig, aber nichts desto weniger tritt auch wieder die Erleichterung ein, dafs man zur Zeit der Ebben auch an ihrem untern Theile manche Verstärkung anbringen kann, welche sonst unausführbar wäre. Ein andrer Vortheil, der aus dem abwechselnden Wasserstande entspringt, bezieht sich darauf, dafs man die Füllungserde nicht in grofser Höhe aufschütten darf, bevor man sie anstampfen kann, sondern das Abrammen schon beginnt, sobald die Schüttung die Höhe des niedrigen Wasserstandes erreicht. Schon früher wurde bemerkt, dafs man bei diesen Fangedämmen nicht Spundwände, sondern

dichte Pfahlwände ohne Spundung anwendet, gewöhnlich fehlt aber auch die davorstehende verholmte Pfahlreihe, wenn dieselbe nicht etwa zum regelmäfsigen Einrammen der dichten Wand beibehalten wird. Auch die hölzernen Zangen kommen bei diesen gröfseren Fangedämmen nicht vor, ihre Stelle vertreten aber eine Menge eiserner Bolzen, die nicht nur oben, sondern in mehrfachen Reihen so weit abwärts sich erstrecken, als man zur Zeit der niedrigsten Ebben sie einziehn kann.

Um ein Beispiel von der Anordnung eines solchen Fangedammes zu geben, wähle ich dasjenige, welches Hughes in der Abhandlung über die Fundirung der Brücken *) anführt. Dasselbe eignet sich auch insofern zur Mittheilung, als die Details dabei genau angegeben sind und der Verfasser als Entrepreneur mancher grofsen Bauten Gelegenheit hatte, sich mit den Erfordernissen eines Fangedammes genau bekannt zu machen. Fig. 237 zeigt im Querschnitte den Fangedamm, der von beiden Seiten die Baugrube umgiebt, in welcher ein Brückenpfeiler auf dem natürlichen festen Grunde erbaut werden soll. Es wird angenommen, dafs dieser Grund, welcher das Wasser nicht stark durchsickern läfst, auf 12 Fufs Höhe mit grobem Kiese bedeckt ist, der sowohl aus der Baugrube, als auch aus den Fangedämmen entfernt werden mufs, um das Eindringen starker Quellen zu verhindern. Die Wassertiefe über dem Kieslager mifst bei Hochwasser 28, bei Niedrigwasser aber 10 Fufs, so dafs der feste Grund, in welchen die Pfähle eindringen müssen, 40 Fufs unter Hochwasser liegt. Hiernach bestimmt sich die Länge der Pfähle für die dichten Pfahlwände, welche den höchsten Theil des Fangedammes einschliefsen sollen, auf 48 Fufs, indem sie noch 3 Fufs über die Fluthhöhe herausragen und 5 Fufs im festen Grunde stehn sollen. Der Fangedamm wird in drei Abtheilungen zerlegt, zu deren Darstellung vier dichte Pfahlreihen erforderlich sind. Die beiden mittleren sind die höchsten, die äufsere erhebt sich bis 1 Fufs über Niedrigwasser und die innere bis 11 Fufs über denselben Wasserstand. Die lichte Entfernung aller Wände unter sich beträgt 6 Fufs und die Stärke der beiden mittleren ist 12 Zoll, die der innern 8 Zoll und der äufsern 6 Zoll. Alles Holz soll gerade gewachsen sein und aus der besten Sorte Memeler Balken, also

*) *Theory, practice and architecture of bridges. Sect. V. p. 46.*

Kiefern, bestehn. Die beiden innern Wände werden oben zu beiden Seiten mit Zangen versehn von 6 Zoll Stärke und 12 Zoll Höhe und durch eiserne Bolzen von 1¼ Zoll Stärke mit einander verbunden. Die Bolzen haben Köpfe von 3 Zoll im Gevierten und 1 Zoll Dicke und auf der andern Seite muſs jedesmal ein scharfes Schraubengewinde eingeschnitten sein, worauf eine Mutter paſst, welche dieselben Dimensionen, wie der Kopf hat. Unter jeder Mutter liegt eine Scheibe. Solche Verbindungsbolzen müssen alle 4 Fuſs angebracht sein, sie liegen aber in drei Reihen unter einander und umfassen in der zweiten Reihe drei Wände und in der untersten alle vier Wände. Das Ausbaggern der obern Kiesschicht soll noch vor dem Beginne der Rammarbeit vorgenommen werden, indem diese dadurch wesentlich erleichtert wird.

Die Figur zeigt noch die Absteifungen der beiden Fangedämme gegen einander und gegen den bereits fertigen Theil des Brückenpfeilers. Bei der von Telford ausgeführten Eingangsschleuse in St. Katharine's Dock in London wurde ein Fangedamm benutzt, der dem beschriebenen sehr ähnlich war und gleichfalls aus drei Abtheilungen bestand. Die Absteifungen kamen auch hier vor, obgleich die Schleuse auf einem Pfahlrost erbaut ist.*)

Eine solche Absteifung ist indessen nicht leicht anzubringen, wenn Pfähle eingerammt werden sollen, weil das Versetzen der Ramme dadurch sehr erschwert wird. Am leichtesten ist es, in diesem Falle den Fangedamm so weit herauszurücken, daſs die Steifen noch dahinter Platz finden. In solcher Art wurde beim Bau des neuen Parlamentshauses in London der eigentliche Fangedamm so weit vor das Fundament in das Fluſsbette herausgeschoben, daſs zwischen beiden ein Raum von 25 Fuſs Breite frei blieb. Dieser Fangedamm bestand nur aus einer einzigen Abtheilung, die jedoch auf ähnliche Art, wie eben erwähnt, ausgeführt wurde. Die Breite der Thonschüttung betrug nur 5 Fuſs, aber ihre Höhe über dem natürlichen Bette 21 Fuſs, und sie erstreckte sich noch 9 Fuſs darunter, indem vor dem Beginne der Rammarbeit so tief gebaggert war. Der Fangedamm hatte indessen hier noch auf andere Art eine wesentliche Verstärkung erhalten, denn zunächst umgab ihn auf der innern, sowie auch auf der äuſsern Seite eine Pfahlreihe,

*) *The Civil Engineer and Architect's Journal. II. p. 430 ff.*

worin die Pfähle 6 Fuſs von Mittel zu Mittel entfernt waren und diese wurde gleichfalls durch drei Reihen Bolzen gehalten. Auf der innern Seite lehnte sich an diese Pfähle eine Verstrebung, welche von einer fünften Pfahlreihe, die 20 Fuſs hinter dem Fangedamme stand, getragen wurde. *)

Beim Bau der neuen London-Brücke bestand der 35 Fuſs hohe Fangedamm aus zwei Abtheilungen von gleicher Höhe, welche wieder durch drei dichte Pfahlwände umschlossen wurden. Die äuſsere Abtheilung hatte eine lichte Breite von 6 Fuſs und die innere von 5 Fuſs, die Wände waren unter sich mehrfach nicht nur durch eiserne Bolzen, sondern auch durch Spannriegel verbunden. Eine sehr feste Verstrebung aus vielen Verbandstücken zusammengesetzt, worunter sich auch zwei Reihen horizontaler doppelter Balken befanden, erstreckte sich etwa 120 Fuſs rückwärts. **) Dieselben wurden nach und nach entfernt, sobald sie der Aufführung des Pfeilers hinderlich wurden, sie konnten alsdann durch kürzere Streben, welche sich gegen das fertige Mauerwerk lehnten, ersetzt werden. Ein wichtiges Beispiel einer ähnlichen Verstrebung ist auch in Venedig vorgekommen, als man daselbst im Jahre 1808, um den Hafen für Kriegsschiffe brauchbar zu machen, durch das Bassin *Novissima grande* einen Fangedamm schlug ***) und diesen gegen die 120 Fuſs entfernten Mauern und Gebäude lehnte. Die Streben bestanden aus den gröſsten Stämmen der Edeltanne, die dort unter dem Namen Albec zu Masten benutzt werden, sie haben mitunter eine Länge von 127 Fuſs, und sind am Stammende 3 bis 4½ Fuſs stark.

Beim Bau des Docks zu Great-Grimsby wurde der über 1600 Fuſs lange Fangedamm in einem flachen Bogen vor die Baustelle gelegt, wodurch er an sich schon eine bedeutende Verstärkung erhielt. Indem er sich jedoch 22 Fuſs über den Grund erhob und einem Wasserdrucke von derselben Höhe widerstehn sollte, so waren bei seiner Anlage noch besondere Vorsichts-Maaſsregeln nothwendig. Seine Breite beträgt zwischen den äuſsern Balkenwänden oben 14 Fuſs, unten war sie aber noch etwas gröſser,

*) *The Civil Engineer and Architect's Journal. I.* p. 31.
**) *Practical treatise on bridge-building by Cresy.*
***) *Nouvelle Collection de dessins etc.*

Der Kullergang besteht aus einem horizontalen Flur von etwa 6 Fuſs Durchmesser, auf dem zwei verticale Steine von 4 Fuſs Durchmesser umlaufen. Bei der einfachsten Einrichtung ist der Flur aus harten Werksteinen gemauert, und in seiner Mitte befindet sich die Spurpfanne einer stehenden Welle. Letztere wird gewöhnlich mittelst conischer Räder durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt, und an ihr befindet sich ein hölzernes Geschlinge, von welchem an jeder Seite zwei Arme bis unter die Achsen der Kullersteine herabreichen. In diesen befinden sich die Führungs-Schlitze von 2¼ Zoll Weite, worin die 2 Zoll starken eisernen Achsen liegen. Bei solcher Befestigungs-Art können die Kullersteine, sobald sie auf groſse und harte Stücke treffen, die sie nicht sogleich zerdrücken, sich heben und darüber fortgehn.

An das Geschlinge sind auſserdem mittelst Ketten zwei horizontale Rechen gehängt, die unten gekrümmte Messer tragen, welche über den Boden gleiten. Unter dem einen sind die Messer so gestellt, daſs sie die frisch aufgegebenen Tuffsteine von beiden Seiten unter die Kullersteine schieben, unter dem andern greifen sie dagegen tiefer herab und schieben alles Material von der Achse unter die Steine und nach dem Rande des Flurs.

Die Tuffsteine werden, nachdem sie in kleine Stücke zerschlagen sind, hinter den zuletzt erwähnten Rechen aufgeworfen. Der nächste Kullerstein trifft sie schon zum Theil, dem zweiten werden sie aber durch den folgenden Rechen noch vollständiger zugeführt. Der Flur ist mit einem 6 bis 8 Zoll hohen Rande von starkem Eisenblech umgeben, und in diesem befindet sich eine Oeffnung durch welche das dagegen gestrichene Material herausfällt. Ein Arbeiter wirft dieses gegen schräge gestellte Siebe, und schaufelt das gröbere Material, welches sich davor anhäuft, wieder unter die Steine zurück. Die Achse macht in der Minute 10 bis 15 Umdrehungen.

Eine Maschine dieser Art läſst sich ohne groſse Kosten einrichten und eignet sich daher vorzugsweise für Baustellen, auf denen nur eine beschränkte Quantität Tuffsteine verbraucht und gemahlen werden soll. Bei andauerndem und starkem Betriebe wendet man zum Zerkleinen des Tuffsteins zunächst eine Quetschmaschine an. Dieselbe besteht in einem 2½ bis 3 Fuſs langen guſseisernen Quetschkasten, der etwa 18 Zoll hoch, oben 16 Zoll und unten 9 Zoll im Lichten weit ist. In demselben liegt die guſseiserne Walze von 8 Zoll

sollte, bestand in einem grofsen gezimmerten Kasten, dessen Länge mit der Breite der Mündung übereinstimmte und 142 Fufs betrug. Derselbe war am Boden 84 Fufs, oben 44 Fufs breit, und seine Höhe maas 45 Fufs. Er bestand nur aus einer vordern und einer hintern Wand, Boden und Seitenwände fehlten ihm, damit die eingeschüttete Erde alle Unebenheiten, die sie berührte, ausfüllen und sich mit dem Grunde und mit den Dossirungen der Hafendämme verbinden konnte. Man hielt indessen diese Kasten allein nicht für ausreichend, um dem Drucke des Wassers und dem Wellenschlage gehörigen Widerstand zu leisten, daher schüttete man an die innere Seite noch eine Erddossirung von etwa 45 Fufs Breite, deren Fufs sich an eine verstrebte dichte Holzwand lehnte. *)

Aehnliche grofse und fest verbundene Holzkasten, die wieder nur aus zwei Seitenwänden bestanden, wurden zur Bildung der Fangedämme für den Bau der Victoria-Brücke in Canada benutzt, indem man sie in den St. Lorenz Strom versenkte.

In andern Fällen, wo Fangedämme auf Felsboden erbaut sind, hat man sie dadurch gegen das Verschieben gesichert, dafs Bohrlöcher in den Grund getrieben und eiserne Stangen darin gestellt wurden. Dieses Verfahren ist z. B. beim Bau der Schleuse zu Corpach, welche auf der westlichen Seite den Eingang in den Caledonischen Canal bildet, angewendet worden. Dasselbe ist bei Kösen geschehn, als man die Futtermauer auf eine grofse Länge in das Bett der Saale stellte, um den Damm der Thüringer Eisenbahn dagegen zu lehnen.

Bei den Schleusen- und Wehrbauten an der Saar in der Nähe von Saarbrücken war der Felsboden, der unter dem Wasserspiegel ausgebrochen und zu diesem Zweck mit Fangedämmen umgeben werden mufste, ein so weicher bunter Sandstein, dafs man zugeschärfte eiserne Stangen von 18 bis 21 Linien Durchmesser 1 bis 2 Fufs tief eintreiben konnte. Man versah dieselben, wenn das Gebirge härter war, mit Stahlspitzen. Diese Stangen, welche die Stelle der hölzernen Pfähle vertraten, wurden im gegenseitigen Abstande von 2½ Fufs eingetrieben, die beiden Reihen derselben waren aber 3½ Fufs entfernt. An die innern Seiten dieser Reihen lehnten

*) In der dritten Ausgabe von Sganzin's *programme* ist ein Querschnitt dieses Fangedammes mitgetheilt.

sich Bretterwände. Eine solche wurde zunächst gebildet durch zwei vertikale Bretter die oben durch Schraubenbolzen mit doppelten Leisten verbunden waren. Zwischen diese Leisten stellte man alsdann die einzelnen vertikalen Bretter, und trieb sie fest gegen den Boden, eben so auch diejenigen, welche den Raum zwischen je zwei solchen Rahmen schlossen, und welche durch die von beiden Seiten vortretenden Enden der Leisten noch gehalten wurden. Bevor man aber den Fangedamm mit Erde füllte, verband man die sämmtlichen Eisenstangen mittelst ausgeglühter starker Drähte über den Bretterwänden mit den gegenüberstehenden. Diese Fangedämme waren einem Wasserdrucke von etwa 4 Fuſs ausgesetzt.*) Es mag noch hinzugefügt werden, daſs man nach Erbauung des obersten Nadelwehres innerhalb des preuſsischen Gebietes mehrfach Gelegenheit hatte, die Anlage der Fangedämme ganz zu umgehn. Indem man nämlich bei dem damals sehr niedrigen Wasserstande und der trocknen Witterung dieses Wehr vollständig schloſs, so senkte sich das Unterwasser so sehr, daſs man die hinderlichen Felsen ohne Weiteres beseitigen konnte.

Wenn ein Fangedamm sich an höheres Ufer anschlieſst, so muſs er in dasselbe eingreifen, damit zwischen beiden das Wasser nicht hindurchdringt. Der Anschluſs eines Fangedammes aber an Felsen oder Mauern, so wie überhaupt an fremdartige Körper, welche sich mit der Erde nicht innig verbinden, giebt leicht Veranlassung zum Durchquellen des Wassers. Um diese Besorgniſs zu entfernen, muſs man in solchem Falle die Breite des Dammes vergröſsern, damit die Berührung, wenn sie auch nicht so innig ist, doch auf eine gröſsere Fläche sich ausdehnt. Ferner ist es vortheilhaft, die Fläche möglichst uneben zu machen, auch wendet man in solchem Falle zuweilen anderes Material, als Erde an, namentlich Mist, der am Steine fester haftet. Auch stöſst man zuweilen Latten, die mit Stroh umwunden sind, in die Ecken des Fangedammes neben Mauern oder an steilen Felsen ein. Beim Bau der Brücke zu Moulins über den Allier führte Régemortes über dem Bohlenboden, den er versenkt hatte, noch einen Fangedamm auf, um das Wasserschöpfen nicht über die ganze Baugrube ausdehnen zu dürfen. Dieser Fangedamm bestand aus hölzernen Kasten, deren Boden mit eingehauenen

*) In Erbkams Zeitschrift für Bauwesen. 1866. L. Hagen: die Canalisirung der obern Saar. S. 49.

Furchen versehn waren und die man auf eine eingeschüttete Thonlage stellte.

In ähnlicher Art, wie in dem Anschlusse gegen fremdartige Körper, pflegt die Füllerde auch in den scharfen Ecken eines Fangedammes eine lockere Lage zu behalten, da wegen der vielfachen Berührung mit den Wänden ein gehöriges Setzen hier nicht erfolgen kann. Man mufs daher plötzliche Unterbrechungen in der Richtung der Fangedämme möglichst vermeiden, und die etwa vorkommenden spitzen Winkel in mehrere stumpfe zerlegen, oder noch besser, wie in England gewöhnlich geschieht, den Uebergang aus einer Richtung in die andere durch eine Curve mit möglichst grofsem Radius vermitteln.

Es bleibt noch zu untersuchen, wie man einen Fangedamm wasserdicht macht. Eine einfache Holzwand, mag sie aus Spundpfählen, oder aus scharf neben einander eingerammten Balken bestehn, läfst gewöhnlich so zahlreiche und weite Fugen offen, dafs die durch sie umschlossene Baugrube nicht trocken gelegt werden kann. Wenn dieses in sehr seltenen Fällen geglückt ist, so geschah es nur bei reinem Grunde und bei überaus vorsichtiger Arbeit. Zuweilen hat man versucht solche Wände dadurch zu dichten, dafs man auf ihrer äufsern Seite wasserdichte Leinwand herabrollte, die bei eintretendem Drucke sich fest anlegte. Beaudemoulin stellte hierüber Versuche an, und fand dafs man auf diese Art ganz sicher einen Wasserdruck von 4½ Fufs abhalten und zugleich das Durchsickern verhindern konnte. Er empfiehlt daher, hiervon Gebrauch zu machen, sobald man bemerkt, dafs die auf gewöhnliche Art construirten Fangedämme sehr undicht werden und stellenweise das Wasser stark durchlassen.

Die gewöhnliche, bereits beschriebene Construction der Fangedämme bietet Gelegenheit, den dichten Schlufs durch Erde darzustellen, die man zwischen die verschiedenen Holzwände schüttet. Man mufs dazu aber eine feine, recht gleichmäfsige Erdart wählen, welche gut bindet, ohne sich beim Einschütten in einen weichen Brei zu verwandeln und ohne Höhlungen zu lassen. Hauptbedingung ist es aber, dafs keine Holzstücke oder andre fremdartige Körper mit eingeworfen werden, oder vielleicht schon beim Bau des Fangedammes hineingebracht sind, denn neben diesen findet das Wasser immer einen leichten Durchgang. Bei den englischen Fange-

dämmen könnten die durchgezogenen Bolzen in dieser Beziehung auch als nachtheilig angesehn werden, doch haftet daran die Erde stärker, als an Holz, und ein Bolzen bietet wegen seiner geringen Dicke auch keine grofse Berührungsfläche. Alle diese Bolzen sind aber über dem niedrigen Wasser befindlich, und wo sie vorkommen, kann die Erdschüttung schon nachgerammt werden.

Gewöhnlich wird zäher Thon für das beste Material zur Füllung der Fangedämme gehalten, und wenn auch nicht bezweifelt werden kann, dafs diese Bodenart, wenn sie in dünnen Schichten von unten auf eingebracht und angestampft werden könnte, die Wasserdichtigkeit am sichersten darstellen würde, so treten ihrer Anwendung unter Wasser doch grofse Schwierigkeiten entgegen. Man darf den Thon nicht in sehr nassem Zustande benutzen, weil er sonst beim Einschütten vollends erweicht, und alsdann eine dicke Flüssigkeit bildet, die selbst durch die Fugen hindurchdringt. Man wirft ihn daher klumpenweise, wie er gestochen wird, in den Fangedamm. Hierdurch verhindert man seine dichte Ablagerung, für die man auch nicht früher sorgen kann, als bis man mit der Schüttung über Wasser gekommen ist. Man bemüht sich, dieses möglichst schnell zu erreichen, um das starke Aufweichen zu verhindern, liegt der Thon aber schon mehrere Fufs hoch, so wirkt die Handramme, oder die Stampfe, die man benutzt, nicht mehr bis zur ganzen Tiefe, und so können leicht bedeutende Höhlungen sich unten gebildet haben, die nicht zu beseitigen sind, und deren Vorhandensein man auch nicht früher bemerkt, als bis man beim Wasserschöpfen starke Quellen durch den Fangedamm hindurchdringen sieht. Es zeigt sich hierbei aber auch noch der zweite Uebelstand, dafs die Wasseradern, die sich zufällig in solchem Boden bilden, die feinen Thontheilchen, die sie berühren, aufnehmen und mit Leichtigkeit durch die engsten Fugen hindurchführen. Auf diese Art erweitern sich also die Adern immer mehr und die Zähigkeit des Thones ist Veranlassung, dafs die obere Decke eines solchen Canales nicht einstürzt. Man darf sonach, wenn die Ausfüllung in tiefem Wasser geschehn mufs, von der Anwendung eines recht steifen Thones keinen günstigen Erfolg erwarten, vielmehr bilden sich in demselben sogar noch stärkere Wasseradern, als in einer Sandschüttung. Schon Perronet erwähnt bei Gelegenheit des Baues der Brücke zu Neuilly, dafs der fette Thon zum Füllen der Fangedämme sich nicht eigne, weil er zu viele Höhlun-

gen bildet, die man selbst in dem Falle nicht beseitigen kann, wenn man ihn auch unter Wasser zu stampfen versucht, wogegen gewöhnliche Ackererde sehr brauchbar sei.

Beim Sande, den man oft als ganz untauglich zum Füllen der Fangedämme ansieht, können die erwähnten Uebelstände nicht eintreten, und wenn dabei einiges Durchsickern auch nie zu vermeiden ist, so ist man doch vor sehr starken Quellen gesichert. Wenn aber die innere Holzwand, wogegen der Sand sich lehnt, so dicht ist, dafs einzelne Sandkörnchen nicht hindurchdringen können, so lagern sie sich bei dem eintretenden Wasserdrucke und vermöge der geringen sich dabei bildenden Strömung noch um so fester gegen die Wand, und vermehren hierdurch den guten Schlufs. Es soll später bei Gelegenheit der Schiffahrtscanäle erwähnt werden, wie vortheilhaft man sowohl in Frankreich als auch in England feinen Sand benutzt hat, um das Durchsickern des Wassers zu verhindern. Es fehlt auch nicht an Beispielen, welche zeigen, dafs Fangedämme aus Sand das Wasser abzuhalten im Stande sind. So wurde beim Bau des Humber-Dock's in Hull, ein Fangedamm, der jedoch nur zur Zeit des Hochwassers in Wirksamkeit trat, zwischen den beiden dichten Pfahlwänden mit Ziegelmauerwerk gefüllt, wobei die Steine aber nicht in Mörtel, sondern nur in Sand versetzt waren. *)

In neuerer Zeit hat man mehrfach versucht, durch besondere Beimischungen die natürliche Erde, wie sie gerade in der Nähe zu haben ist, für die Füllung der Fangedämme geeigneter zu machen. So setzte man schon bei den Bauten am Canale St. Martin zu diesem Zwecke der sandigen Erde $\frac{1}{35}$ bis $\frac{1}{20}$ ihres Volumens an Kalk zu und beim Bau der Brücke du Sault über die Rhone wurde der sehr strenge Boden mit $\frac{1}{10}$ Kalkbrei vermengt und stark durchgearbeitet, bevor man damit den Fangedamm füllte. Hughes äufsert sich auch dahin, dafs der strenge Thon ohne Beimischung bei tiefem Wasser nicht angewendet werden darf, indem er sich nicht dicht ablagert, man ihm vielmehr noch andere Stoffe zusetzen mufs. Als eine sehr brauchbare Mischung zum Füllen der Fangedämme empfiehlt er drei Theile reinen Thon (*clay*), zwei Theile Kreide (*chalk*) und einen Theil Kies (*gravel*). Die beiden letzten Bestandtheile sollen bis zur Gröfse eines Hühner-Eies zerschlagen und durch sorg-

---

*) *Transactions of the Institution of Civil Engineers. I. p.* 15.

fältiges Umrühren vor dem Versenken mit dem Thon vermengt werden. Dabei wird noch bemerkt, dafs es in England üblich sei, den Fangedamm in der Krone einen Fufs hoch in Ziegeln zu übermauern, Hughes meint jedoch, dafs man eine eben so feste und noch dichtere und zugleich wohlfeilere Decke darstellen kann, wenn man eine Bétonlage von recht grobem Kiese aufbringt.

Endlich sind noch die Mittel zu bezeichnen, die man in Anwendung bringen kann, sobald man bemerkt, dafs der Fangedamm seinen Zweck nicht erfüllt und grofse Wassermassen durchläfst. Indem er auf der innern Seite bequem zugänglich ist, so versucht man häufig hier die Fugen zu stopfen, durch welche man das Wasser austreten sieht, doch gelingt dieses fast niemals, denn wenn die Adern schon durch den ganzen Damm bis gegen die innere Seitenfläche gedrungen sind, so bilden sie sich, sobald ein Ausweg hier verstopft wird, sogleich einen andern in der Nähe. Wenn der Leck gedichtet werden soll, so kann dieses nur auf der äufsern Seite oder im Innern des Dammes geschehn. Von aufsen verhindert indessen der Wasserstand einen solchen Versuch, und es bleibt nur übrig, Gegenstände zu versenken, die vielleicht durch die hindurchdringende Wasserader gefafst und vor die Oeffnung geführt werden. Zu diesem Zwecke eignet sich besonders wasserdichte Leinwand, wie bereits erwähnt wurde, auch gelingt es zuweilen, davorgeschütteten Mist, mit Stroh vermengt, in die Oeffnung hereinzuziehn und selbige dadurch zu sperren. Das Verfahren, das aber in ähnlichen Fällen bei Canälen mit überraschendem Erfolge angewendet ist, läfst auch für die Dichtung der Fangedämme in manchen Fällen dieselbe Wirkung erwarten. Man schüttet nämlich feinen Sand in das Wasser vor die Stelle, wo man die Wasseradern vermuthet, die einzelnen Sandkörnchen sinken langsam zu Boden und folgen daher jeder Seitenbewegung des Wassers. Auf solche Art werden sie zum Theil auch in den Fangedamm hineingezogen und finden hier leicht ein Hindernifs, welches sie zurückhält. So kann es geschehn, dafs ein Körnchen sich an das andere lagert, bis zuletzt die Ader gesperrt ist. Die geringe Mühe, womit ein solcher Versuch sich anstellen läfst, dürfte ihn rechtfertigen, wenn das Gelingen desselben auch weniger wahrscheinlich ist, als bei einem Canale, wo die Wasserader durch einen längeren Weg sich hindurchziehn mufs und daher solche zufällige Hindernisse für die einzelnen Sandkörnchen eher

eintreten. Gewöhnlich bemüht man sich, eine undichte Stelle im Fangedamme dadurch zu verbessern, dafs man die entstandene Höhlung im Innern zu beseitigen sucht. Man rammt die schadhafte Stelle fest an, und wenn dieses nichts hilft, so gräbt man die Erdschüttung so tief auf, als der Wasserstand es erlaubt und wendet alsdann wieder die Ramme an, oder man baggert auch die Erde aus und füllt die Stelle ganz neu. Hierbei mufs man natürlich die Baugrube voll Wasser laufen lassen, denn wenn die Strömung während dieser Arbeit immer hindurchginge, so würde die Sperrung der Ader um so weniger zu erwarten sein.

Indem auf kiesigem oder sandigem Untergrunde das Wasser nicht nur von der Seite, sondern auch durch den Boden in die Baugrube dringt, so hat man zuweilen die ganze Sohle der letzteren zu überdecken versucht. Man nannte dieses einen Grund-Fangedamm. Ein solcher ist am sichersten durch eine Bétonschüttung darzustellen, doch wird hiervon erst später die Rede sein.

Beim Bau der Brücke zu Moulins über den Allier führte Régemortes eine Ueberdeckung mit Thon aus, die ihren Zweck auch genügend erfüllte. Das Flufsbette bestand aus feinem Sande und die Bohrungen zeigten, dafs dieser wenigstens auf 47 Fufs Tiefe herabreichte. Die Brücke, welche Hardouin Mansard daselbst im Jahre 1705 erbaut hatte, war wenige Jahre später bei einer Fluth eingestürzt und die Veranlassung dazu lag in den tiefen Auskolkungen, die sich neben den Brückenpfeilern bildeten, deren Wirkung man aber nicht durch eine tiefere Fundirung vorgebeugt hatte, weil kein Pfahl weiter als höchstens bis anf 15 Fufs eingerammt werden konnte. Régemortes stellte sich daher die Aufgabe, das ganze Flufsbette unter der Brücke zu befestigen, und dadurch jede Auskolkung zu verhindern. Um dieses zu bewirken, war eine wasserfreie Baugrube nothwendig. Ob solche sich darstellen liefs, sollte ein Versuch neben dem Ufer des Flusses entscheiden. Es wurde eine Grube von 42 Fufs Länge und Breite ausgehoben, mit Pfahlreihen und Spundwänden eingefafst und alsdann bis 6 Fufs unter den Sommerwasserstand ausgebaggert, darauf stellte man zwei Kettenpumpen ein, doch konnte man mittelst derselben das Wasser nur um 15 Zoll senken. Nunmehr wurde ein Fangedamm aus Erde rings herum angebracht, so dafs die Grube nur noch 30 Fufs in der Seite maafs, dieselben Schöpfmaschinen senkten darauf das Wasser Anfangs 4 Fufs,

doch bald fing es wieder an zu steigen und liefs sich nicht tiefer als bis auf 18 Zoll unter das Wasser des Flusses senken. Das anfänglich tiefere Herabsinken schien von den Erdtheilchen herzurühren, die sich beim Schütten der Fangedämme gelöst hatten und auf die Sohle niedergefallen waren. Darauf wurde die Sohle 4 Zoll hoch mit Erde bedeckt und nunmehr gelang es, das Wasser sehr schnell bis auf 5 Fufs zu senken, doch hob es sich nach und nach und stieg während des Pumpens zuletzt wieder auf 18 Zoll unter das Niveau des Flusses.

Dieser Versuch entschied für das Project, den Boden mit Thon zu bedecken, aber zugleich durch eine andere Beschwerung zu verhindern, dafs der Thon nicht aufgespühlt werden konnte. Zuerst wurden fünf Reihen Spundpfähle eingerammt, nämlich zwei derselben oberhalb der Brücke und drei unterhalb. Sie erstreckten sich von einem Ufer bis zum andern, und die zweite und dritte Spundwand trafen auf die Ecken der Pfeilerköpfe. Alle vier Räume zwischen den Spundwänden sollten überdeckt werden. Man baggerte sie zuerst bis zu der erforderlichen Tiefe aus und da sich auf diese Art noch nicht ein so ebner Grund darstellte, als zur Aufbringung der Thondecke nöthig war, so wurde noch eine besondere Ausgleichung desselben durch Abstreifen vorgenommen. Eine hölzerne Schiene wurde nämlich an ein Fahrzeug befestigt und konnte so gerichtet werden, dafs ihr unterer Rand horizontal und in jede beliebige Tiefe zu stellen war. Sobald man das Fahrzeug durch Winden vorwärts bewegte, so strich die Schiene längs dem Boden und ebnete ihn.

Hierauf erfolgte die Versenkung des Thones. Ein Rahmen von 13 Fufs Breite und 60 Fufs Länge schwebte zwischen zwei Fahrzeugen. In denselben war eine grofse Anzahl prismatischer Stäbe eingesetzt, die oben in scharfe Kanten ausliefen, wie die schraffirten Durchschnitte in Fig. 238 auf Taf. XVIII zeigen. Sie liefsen zwischen sich Oeffnungen von 8 Zoll Breite, welche durch Klappen geschlossen werden konnten. In *a* sieht man diese Klappen geschlossen, in *b* dagegen geöffnet. *B* ist in beiden Figuren ein Theil des Rahmens und *A* einer von den zehn Hebeln, welche mittelst der daran befestigten Leisten *C* die Klappen schlossen und in dieser Lage (wie in *a*) erhielten, während nahe trockner und in kleine Stücke zerschlagener Thon 1 Fufs hoch darüber geschüttet wurde.

Um denselben gleichmäfsig über den Rahmen zu verbreiten, waren die 5 Hebel an jeder Seite auch über ihren Drehepunkten durch Leisten *E* unter sich verbunden. Letztere legten sich, sobald die Klappen geschlossen wurden, auf den Rahmen, und dienten alsdann als Lehren für das Lineal, womit man den Thon ebnete und abstrich. Wenn man nach diesen Vorbereitungen die vortretenden Hebelarme aufhob, so öffneten sich alle Klappen und die darauf lagernde Thonmasse stürzte sehr gleichmäfsig auf die Sohle der Baugrube herab. Der Rahmen wurde alsdann um seine Breite verschoben, und sonach schlofs sich die folgende Beschüttung unmittelbar an die erste an.

War diese Arbeit vollendet, so erfolgte die Ueberdeckung der Thonschicht mittelst Tafeln von 12 Fufs Länge und 12 Fufs Breite, die aus $\frac{5}{4}$zölligen Dielen durch übergenagelte Leisten zusammengesetzt waren. Alle Tafeln, welche neben den Spundwänden zu liegen kamen, wurden an der Seite, wo sie diese berührten, nach deren Form genau zugeschnitten. Eine Latte, welche unten mit einem Vorsprunge versehn war, womit sie die Spundwand berührte, wurde in senkrechter Stellung neben der Wand hingezogen. Dieselbe bezeichnete durch ihre Ausweichungen alle Unebenheiten der Wand, die in der daneben zu versenkenden Tafel gleichfalls dargestellt wurden. Das regelmäfsige Versenken der Tafeln geschah, indem auf die Ecken jeder derselben eine Leitschiene aufgeschroben war, die bei der Versenkung der Tafel schon benutzt wurde, um letztere herabzulassen. An diese Leitschienen liefsen sich aber auch die der benachbarten Tafeln befestigen, wodurch alle regelmäfsig und dicht schliefsend versenkt wurden. Um jedoch einen noch bessern Schlufs hervorzubringen, waren Streifen von Zwillich auf ihre Räder genagelt. Die Leitschienen wurden nicht früher ausgeschroben und entfernt, als bis die benachbarten Tafeln bereits am Boden lagen. Um das Aufschwimmen zu verhindern, hatte man dieselben aber schon beim Herablassen mit kleinen Steinen beschwert.

Nachdem auf solche Art der Boden gedichtet war, führte man erst die Fangedämme auf und setzte die Schöpfmaschinen in Bewegung, wobei das Wasser sich regelmäfsig senkte und die Baugrube trocken wurde. Alle erwähnten Arbeiten waren in der Tiefe von 8 bis 9 Fufs unter Wasser ausgeführt. Auf die Tafeln, die nunmehr eine gleichmäfsige und starke Beschwerung erhielten, wurden die Brückenpfeiler gestellt, aufserdem aber auch der ganze Raum ober-

niederschlagen, ohne verschiedene Schichtungen zu bilden, auch darf das Wasser keine starke Trübung behalten.

Wenn nicht gerade ein möglichst schnelles Erhärten des Mörtels nothwendig wird, wie etwa beim Stopfen eines Quells, so ist die Verwendung eines etwas langsamer bindenden Cementes in mehrfacher Beziehung vorzuziehn. Nach vielfachen Erfahrungen kann man dem letzteren ohne merkliche Benachtheiligung mehr Sand zusetzen, aufserdem ist die Verarbeitung desselben leichter, was besonders von Wichtigkeit ist, wenn grofse Quantitäten Mörtel, wie etwa zu Béton-Fundirungen gebraucht werden, und endlich nimmt derselbe schliefslich eine bedeutend gröfsere Härte und Festigkeit an, als der schnell bindende Cement. Für gewöhnliche Fälle und namentlich für Béton-Fundirungen genügt es, wenn der reine Cement, welchem dem Gewichte nach im Verhältnisse von 10 zu 3 Theilen Wasser zugesetzt ist, erst nach 25 bis 30 Minuten abbindet.

Bei Abnahme des Cementes ist besonders darauf zu achten, dafs er keine Feuchtigkeit angezogen hat, wodurch er schon im Fafse theilweise erhärtet. Ein geringes Zusammenbacken der Masse pflegt dagegen ohne Nachtheil zu sein, so lange die Klümpchen sich noch ohne Schwierigkeit zwischen den Fingern zerreiben lassen. Aufserdem ist jedenfalls zu prüfen, ob die Tonnen den ausbedungenen Inhalt und das richtige Gewicht haben.

Das sicherste Urtheil über die Güte des Cementes und über den passenden Sand-Zusatz gewinnt man durch directe Versuche. Man formt aus den zu prüfenden Mischungen Kugeln, und legt dieselben, nachdem sie eine gewifse Consistenz gewonnen haben, also etwa nach 30 Minuten in die vorhin erwähnten Probegläser, die man mit Wasser füllt, und prüft alsdann von Zeit zu Zeit die nunmehr eintretende Erhärtung.

In den Fabriken pflegt man den Cement in Bezug auf seine absolute Festigkeit in der Art zu prüfen, dafs man aus reinem Cement-Mörtel in metallnen Formen prismatische Stäbe bildet, deren quadratische Querschnitte 1¼ bis 2 Zoll in den Seiten messen. An beiden Enden sind diese Stäbe mit Verstärkungen versehn. Nachdem der Mörtel abgebunden hat, entfernt man die Formen und legt die Proben unter Wasser. Nach mehreren Tagen wird die Festigkeit derselben gemessen, indem man die erwähnten Verstärkungen in passende Backenpaare schiebt, von denen das obere fest aufgehängt

nissen ausgeführter Brunnen nie versiegt, so sammelt sich das Wasser auch in dieser Baugrube, und jemehr man es durch Pumpen oder Schöpfen senkt, um so stärker fliefst es hinzu, indem der Wasserdruck, unter welchem die Quellen eintreten, sich durch diese Senkung verstärkt. Die Schwierigkeiten, welche der Trockenlegung der Baugrube sich entgegenstellen, werden zuweilen so grofs, dafs man mit den vorhandenen Schöpfmaschinen nicht ausreicht, denn wie kräftig diese auch sein mögen, so setzt die Vermehrung des Zuflusses bei der zunehmenden Senkung des Wasserspiegels ihrer Wirksamkeit doch endlich eine Grenze, und so giebt es jedesmal eine gewisse Tiefe, bei der eben so viel Wasser zufliefst, als die Maschine hebt, und alsdann ist eine fernere Senkung nicht mehr möglich. Dieser tiefe Wasserstand findet aber nur statt, wenn die Maschine in voller Wirksamkeit erhalten wird, sobald eine Unterbrechung eintritt, steigt das Wasser und die Maschine mufs wieder einige Zeit hindurch gearbeitet haben, bevor die Senkung bis zur früheren Tiefe erfolgt. Sehr vortheilhaft ist es, wenn die erwähnte Grenze oder die Tiefe, bis zu welcher die Maschine das Wasser senken kann, weit unter der Sohle der Baugrube liegt. In diesem Falle darf das Pumpen auch nicht ununterbrochen fortgesetzt werden. Wenn dagegen jene Grenze in diejenige Höhe fällt, bis zu welcher die Senkung stattfinden mufs, wenn der Rost gelegt oder der sonstige Grundbau vorgenommen werden soll, so darf die Maschine gar nicht zum Stillstande kommen. Man mufs in solchem Falle schon einige Stunden vor dem Anfange der eigentlichen Arbeitszeit an jedem Morgen das Wasserschöpfen beginnen lassen, um den Zuflufs, der während der Nacht nicht entfernt war, zu beseitigen. Für besonders tiefe und ausgedehnte Gruben, wie etwa zu Schleusen-Anlagen genügt aber auch dieses nicht, und man mufs sogar, um Unterbrechungen der Arbeit zu vermeiden, die Schöpfmaschinen dauernd, also eben sowol in der Nacht, wie am Tage und nicht minder an Sonntagen, im Betriebe erhalten. Vortheilhaft ist es aber, wenn in solchem Falle auch die eigentlichen Fundirungsarbeiten ununterbrochen fortgesetzt werden, um den Bau möglichst bald soweit heraufzuführen, dafs es des Pumpens nicht mehr bedarf.

Zuweilen sind die aufgestellten Maschinen gar nicht im Stande, das Wasser hinreichend tief zu senken. Man mufs alsdann mit grossem Zeitverluste, der wieder mit Kosten verbunden ist, die Anzahl

oder die Wirksamkeit der Maschinen vergröfsern, oder zu einer andern Fundirungsart übergehn, die eine minder tiefe Senkung des Wassers erfordert. Zuweilen ist man sogar gezwungen, die Baustelle ganz zu verlassen, und dafür eine andere, weniger quellreiche aufzusuchen. Wie störend und kostspielig solche Unterbrechungen sind, besonders wenn sie unerwartet eintreten, bedarf keiner nähern Auseinandersetzung, es mufs jedoch noch darauf hingewiesen werden, dafs durch die Aufstellung einer recht kräftigen Maschine, wodurch die Baugrube wirklich trocken gelegt wird, sich keineswegs alle Schwierigkeiten beseitigen, indem eben die starke Strömung, welche sich durch den Baugrund hindurchzieht, denselben so auflockern kann, dafs er die nöthige Festigkeit verliert.

Die Vorsichtsmaafsregeln zur Vermeidung solcher Unannehmlichkeiten beziehn sich zunächst darauf, dafs man sich bemüht, den Wasserzudrang möglichst zu schwächen. Dieses geschieht, indem man für die Baustelle den passendsten Platz aussucht, oder sie dahin verlegt, wo der Boden mehr thonig als sandig und kiesig ist, und wo der Flufs sich etwas weiter entfernt. In vielen Fällen ist indessen keine Wahl gestattet, doch jedenfalls ist es bei allen wichtigeren Bauten nothwendig, dafs man durch Bohrungen sich schon vorher von der Beschaffenheit des Grundes überzeugt, um die Stärke des Wasserzudranges einigermaafsen beurtheilen zu können.

Zuweilen gelingt es auch, starke Quellen, welche sich in die Baugrube ergiefsen, durch Aufschüttungen oder durch Abrammen u. dergl. zu schliefsen. Als im Jahre 1813 das Dock bei Antwerpen gebaut wurde, traten so grofse Wassermassen in die Baugrube, dafs die kräftigen Maschinen, die man aufgestellt hatte, die erforderliche Senkung nicht bewirken konnten. Man bemerkte aber, dafs das eindringende Wasser viel Erde mit sich führte, und bald gab sich die Richtung des Zuflusses durch das Einsinken des Bodens in einiger Entfernung zu erkennen. Man ersah hieraus, dafs der Quell aus einem Festungsgraben gespeist wurde, und bei näherer Untersuchung desselben fand man, dafs eine ansehnliche Vertiefung sich darin gebildet hatte. Indem man diese durch eingeschüttete Erde ausfüllte und überhöhte, hörte der starke Wasserzudrang auf. *)

---

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1856. *II.* *p.* 321.

Der Wasserzudrang hängt von der Höhe des Wasserstandes in den Flüssen oder anderer in der Nähe befindlichen Wasserbecken ab, und da dieser nach der Jahreszeit veränderlich ist, so liegt ein grofser Vortheil darin, wenn diejenigen Arbeiten, wobei die tiefste Senkung erforderlich ist, in solche Zeit fallen, wo die Flüsse das wenigste Wasser führen und überhaupt die gröfste Dürre stattfindet. Dieses pflegt in den Monaten September und Anfang October der Fall zu sein. Sodann findet sich zuweilen auch Gelegenheit, die unterirdischen Quellen, welche eine Baugrube füllen, schon ehe sie diese erreichen, aufzufangen und anderweit abzuleiten. Zu diesem Zwecke hat man die Anlage von Artesischen Brunnen in einiger Entfernung oberhalb der Baugrube empfohlen, wovon indessen nur selten einiger Nutzen zu erwarten ist. Solche Brunnen müssen überfliefsen, wenn sie etwas helfen sollen, und man mufs sich bemühen, ihre Ergiebigkeit durch Eröffnung recht tiefer Abflüsse möglichst zu vergröfsern, denn jemehr Wasser man ihnen entzieht, um so weniger können dieselben Quellen die Baugrube füllen.

Die Trockenlegung der Baustelle läfst sich ferner, wenn auch die Zuflüsse nicht weiter zu vermindern sind, noch dadurch wesentlich erleichtern, dafs man durch Eröffnung tiefer Abzugsgräben den natürlichen Abflufs möglichst fördert. Man wird zwar nur selten in dieser Art von der Sohle der Baugrube das Wasser ableiten können, aber sehr häufig treten starke Quellen in gröfserer Höhe ein, und durch Beseitigung derselben werden die Schöpfmaschinen schon ansehnlich entlastet. Man mufs überhaupt sehr aufmerksam sein, dafs die Hubhöhe nicht gröfser wird, als sie nach den localen Verhältnissen sein mufs. Der Effect der Schöpfmaschine ist das Product aus der Wassermenge, die etwa in einer Minute gehoben wird, in die Hubhöhe. Gelingt es, die letztere auf die Hälfte zu reduciren, so kann im Allgemeinen dieselbe Maschine oder dieselbe Anzahl von Arbeitern doppelt soviel Wasser fördern. Dieser Umstand wird häufig ganz übersehn. Man hebt das Wasser so hoch, wie die vorräthigen Pumpen sind, und giefst es nicht selten wohl 6 Fufs über dem Fangedamm aus, während es doch nur so eben über das Niveau des äufsern Wassers gehoben zu werden brauchte.

Die Krone des Fangedammes tritt unter gewöhnlichen Verhältnissen einige Fufs hoch über das äufsere Wasser, man mag

indessen dieselbe nicht einschneiden, um den Damm keiner Gefahr auszusetzen. Diese Vorsicht ist jedoch meist nicht gerechtfertigt, denn indem der Einschnitt über Wasser geschieht, so kann man ihn immer schnell und sicher, sobald es nöthig sein sollte, wieder schliefsen, und eine undichte Stelle im Fangedamme, wenn sie in der Nähe seiner Krone vorkommt, ist jedenfalls wenig bedenklich. Hiernach rechtfertigt sich das Verfahren, welches man hin und wieder anwendet, dafs man nämlich die Füllungserde des Dammes vor den Pumpen bis gegen den Wasserspiegel ausgräbt, die beiden Holzwände in dieser Höhe etwa einen Fufs breit durchschneidet und eine Rinne einlegt. Sobald das Wasser wieder steigt, so schiebt man, nachdem die Rinne herausgezogen ist, Brettstücke auf der innern Seite vor die Einschnitte beider Wände und bringt in dünnen Lagen wieder bis zur passenden Höhe den Thon auf, den man fest stampft. Indem das Steigen des Wassers gemeinhin nicht unerwartet erfolgt und eine wichtige Baustelle doch nie ohne Aufsicht bleiben kann, so findet hierbei keine Gefahr statt.

Andrerseits hat man zuweilen gleich beim Bau des Fangedammes hölzerne Rinnen durch denselben hindurchgezogen. Dieses Mittel wandte schon Perronet beim Bau der Brücke zu Neuilly an, und es kommt gewöhnlich auch bei denjenigen Fangedämmen vor, welche nur den Wasserstand der Ebbe abhalten sollen, da es Gelegenheit giebt, das Fluthwasser aus der Baugrube abzuführen. Die Rinne selbst läfst sich leicht wasserdicht darstellen, aber es ist schwer, ihre Verbindung mit der Füllungserde genügend zu sichern. Besonders mufs man aber befürchten, dafs unter ihrem Boden sich Quellen hindurchziehn, indem eines Theils die Erde sich hier nicht fest dagegen stampfen läfst und andern Theils auch leicht später ein Setzen der Erde eintreten kann, an welchem die Rinne nicht Theil nimmt.

Eine andre Methode zur Vermeidung der überflüssigen Hubhöhe beruht darauf, dafs man das gehobene Wasser in Hebern über den Fangedamm fliefsen läfst. Dieses Verfahren, welches vor geraumer Zeit in Metz angewendet wurde *), scheint sich vorzugsweise zu empfehlen, man mufs dazu aber im Innern der Baugrube einen grofsen Kübel einrichten, der das Wasser zunächst aufnimmt und

*) Sganzin, *programme. I.* 4. *édition. p.* 308.

dessen Umfassungswände sich bis zum höchsten äufsern Wasserstande erheben. Wenn der Heber aus gufseisernen Röhren besteht, so wird er seinen Dienst sehr regelmäfsig und sicher erfüllen, doch mufs er an seinem obern Ende mit einer Füllröhre und hier sowohl, als an beiden Mündungen mit Hähnen oder Klappen versehn sein, die sich leicht öffnen und schliefsen lassen, weil man ihn sonst nicht in Wirksamkeit setzen kann. Sein Querschnitt darf auch nicht zu enge sein, mufs vielmehr der durchzuführenden Wassermenge entsprechend gewählt werden, weil er sonst eine gröfsere Druckhöhe zum Abführen des Wassers gebraucht. Man hat zuweilen auch die Pumpen mit Hebern verbunden, oder ihnen eine solche Einrichtung gegeben, dafs sich die Hubhöhe nach dem jedesmaligen äufsern Wasserstande von selbst regulirt: hiervon wird bei Beschreibung der Schöpfmaschinen die Rede sein.

Demnächst läfst sich auch der Wasserspiegel in dem Abzugsgraben zuweilen durch eine angemessene Leitung desselben senken und dadurch wieder die Hubhöhe der Schöpfmaschinen vermindern. So gelang es Régemortes, den Wasserspiegel in der Baugrube um 19 Zoll zu senken, indem er einen Canal am Ufer des Allier-Flusses etwa 200 Ruthen stromabwärts zog, bei mehreren Schleusen am Bromberger Canale war es sogar möglich, die Baugrube ohne Schöpfmaschinen trocken zu legen, indem man jedesmal das Gefälle der nächstfolgenden Schleuse benutzte und bis zu ihrem Unterwasser oder bis zur zweiten Canalstrecke den Abzugsgraben herabführte.

Bei der Unsicherheit, die jedesmal ohnerachtet aller vorher gehenden Untersuchungen über die Stärke des Zuflufses statt zu finden pflegt, empfiehlt es sich, die Anordnungen so zu treffen, dafs man nöthigenfalls mit den beigeschafften Maschinen auch eine gröfsere Wassermenge zu heben im Stande ist, als man erwartet. Wenn hierdurch auch vielleicht und namentlich bei Anwendung von Dampfmaschinen nicht das Maximum des Nutzeffectes gewonnen wird, so erreicht man doch den grofsen Vortheil, dafs man bei einem unerwartet starken Zuflusse nicht den Bau unterbrechen darf. Eine solche Unterbrechung ist aber besonders nachtheilig, wenn der zur Fundirung günstige Wasserstand des Flusses nur kurze Zeit hindurch anhält, und sonach eine Störung der Arbeit in dieser Periode vielleicht die Beendigung des Baues um ein ganzes Jahr verzögert.

Das Schöpfen des Wassers geschieht nicht in der Sohle der Baugrube selbst, weil man diese alsdann nicht wasserfrei machen könnte, auch ist es bei allen Schöpfmaschinen und namentlich bei Pumpen vortheilhaft, das Wasser nicht unmittelbar über dem Boden zu entnehmen, woselbst es gar zu unrein ist; in einer gröfseren Höhe darüber ist es frei von den gröbsten erdigen Theilchen. Aus diesem Grunde pflegt man in der Baugrube selbst noch eine besondere Vertiefung oder den sogenannten Sumpf zu bilden. Bei Einrichtung desselben mufs man aber sehr vorsichtig sein, dafs hierdurch nicht etwa dem Wasser ein leichter Zutritt eröffnet wird. Dieses wäre zu befürchten, sobald in geringer Tiefe unter der Sohle der Baugrube sich besonders poröse Schichten vorfinden. In solchen Fällen kann es nöthig werden, den Sumpf in seiner Sohle zu bedecken und ihn in den Seitenwänden wie einen Brunnen einzufassen, damit er möglichst wasserdicht wird und sich nur von oben durch die Zuflüsse aus der Baugrube füllt.

Zuweilen kann man in einer Baugrube, wenn die Schöpfmaschinen im Gange sind, deutlich bemerken, dafs an einzelnen Stellen starke Quellen hervortreten, und man versucht alsdann, diese zu stopfen, doch ist im Allgemeinen der Erfolg davon wenig befriedigend. Es kommt hierbei vorzugsweise auf die Beschaffenheit des Grundes an; wenn derselbe sandig oder kiesig ist, so wird durch die Schliefsung derjenigen Oeffnung, durch welche das Wasser hervorquoll, der vermehrte Druck im Innern sogleich zur Entstehung eines neuen Ausflusses Veranlassung geben. Bei einem mehr thonhaltigen Boden, worin sich vielleicht eine geschlossene Wasserader gebildet hat, kann dagegen eine dichte Sperrung, die man in der Mündung anbringt, den Quell vollständig verschliefsen. Um diese Sperrung zu bewirken, ist das einfachste und gewöhnlichste Mittel dieses, dafs man einen Pfahl hineinrammt; man hat auch hin und wieder recht trockne Thonmassen hineinzustopfen versucht, die im Wasser quellen und sonach die Ader schliefsen, auch ist Béton zu diesem Zwecke benutzt worden, doch lassen die beiden letzten Mittel nur in dem Falle einigen Erfolg erwarten, wenn man vor ihrer Anwendung die Schöpfmaschinen aufser Thätigkeit gesetzt hat, damit die Strömung für einige Zeit unterbrochen bleibt. Wenn dieses nicht geschehn ist, so dürfte der Thon oder der Béton sich gar nicht hineinbringen lassen, oder doch wenigstens nicht die

gehörige Füllung der Oeffnung bewirken, indem das durchfliefsende Wasser ihn zu stark angreift und die gelösten Theilchen heraustreibt.

Zuweilen hat man solche Quellen in besondere Fangedämme, oder auch wohl in Fässer oder Röhren eingeschlossen. Dieses Mittel ist gewifs passend, wenn der Zusammenhang der Quellen mit der übrigen Baugrube sich ganz aufheben läfst und das Wasser in der Röhre wirklich zur vollen Druckhöhe ansteigt, wodurch der fernere Zuflufs des Quells unterbrochen wird. In dieser Art wurden beim Bau der Brücke zu Orleans mehrere Quellen eingefafst. Jedenfalls mufs alsdann der Baugrund hinreichend fest sein, damit das Wasser unter dem stärkeren Drucke sich nicht daneben einen neuen Ausweg eröffnen kann. Ist dieses nicht der Fall, so läfst man das Wasser in der Röhre bis über den äufsern Wasserspiegel ansteigen und leitet es in diesen ab, erhebt es sich aber nicht so hoch, so hat man nur für die gehörige Dichtung der Röhre zu sorgen, damit keine Ausströmung in die Baugrube erfolgt. In beiden Fällen behindert diese Röhre nicht die Ausführung des Fundamentes, wenn sie neben demselben sich befindet, tritt sie aber in dieses hinein, so mufs sie durch Mauerwerk umschlossen und nach Erhärtung des letzteren durch Béton gesperrt werden, wie später mitgetheilt werden wird.

Das sicherste Mittel zum Stopfen der aus dem Grunde hervorbrechenden Quellen bietet der Béton dar, besonders wenn er über die ganze Sohle als Grundfangedamm ausgebreitet wird. Hauptbedingung ist hierbei aber, dafs man der Bétonlage hinreichende Zeit zum Erhärten läfst, bevor sie dem Wasserdrucke ausgesetzt wird, denn so lange sie noch weich ist, findet das Wasser leicht Gelegenheit hindurchzudringen und spült alsdann die Kalktheilchen heraus, so dafs der Béton an einzelnen Stellen alle Festigkeit verliert und über denselben die Quellen sich wieder zeigen.

§. 45.
Schöpfmaschinen.

Wenn bei ausgedehnten Fundirungs-Arbeiten oder sonstigen Bauanlagen grofse Wassermassen längere Zeit hindurch gewältigt wer-

Das Schöpfen des Wassers geschieht nicht in der Sohle der Baugrube selbst, weil man diese alsdann nicht wasserfrei machen könnte, auch ist es bei allen Schöpfmaschinen und namentlich bei Pumpen vortheilhaft, das Wasser nicht unmittelbar über dem Boden zu entnehmen, woselbst es gar zu unrein ist; in einer gröfseren Höhe darüber ist es frei von den gröbsten erdigen Theilchen. Aus diesem Grunde pflegt man in der Baugrube selbst noch eine besondere Vertiefung oder den sogenannten Sumpf zu bilden. Bei Einrichtung desselben mufs man aber sehr vorsichtig sein, dafs hierdurch nicht etwa dem Wasser ein leichter Zutritt eröffnet wird. Dieses wäre zu befürchten, sobald in geringer Tiefe unter der Sohle der Baugrube sich besonders poröse Schichten vorfinden. In solchen Fällen kann es nöthig werden, den Sumpf in seiner Sohle zu bedecken und ihn in den Seitenwänden wie einen Brunnen einzufassen, damit er möglichst wasserdicht wird und sich nur von oben durch die Zuflüsse aus der Baugrube füllt.

Zuweilen kann man in einer Baugrube, wenn die Schöpfmaschinen im Gange sind, deutlich bemerken, dafs an einzelnen Stellen starke Quellen hervortreten, und man versucht alsdann, diese zu stopfen, doch ist im Allgemeinen der Erfolg davon wenig befriedigend. Es kommt hierbei vorzugsweise auf die Beschaffenheit des Grundes an; wenn derselbe sandig oder kiesig ist, so wird durch die Schliefsung derjenigen Oeffnung, durch welche das Wasser hervorquoll, der vermehrte Druck im Innern sogleich zur Entstehung eines neuen Ausflusses Veranlassung geben. Bei einem mehr thonhaltigen Boden, worin sich vielleicht eine geschlossene Wasserader gebildet hat, kann dagegen eine dichte Sperrung, die man in der Mündung anbringt, den Quell vollständig verschliefsen. Um diese Sperrung zu bewirken, ist das einfachste und gewöhnlichste Mittel dieses, dafs man einen Pfahl hineinrammt; man hat auch hin und wieder recht trockne Thonmassen hineinzustopfen versucht, die im Wasser quellen und sonach die Ader schliefsen, auch ist Béton zu diesem Zwecke benutzt worden, doch lassen die beiden letzten Mittel nur in dem Falle einigen Erfolg erwarten, wenn man vor ihrer Anwendung die Schöpfmaschinen aufser Thätigkeit gesetzt hat, damit die Strömung für einige Zeit unterbrochen bleibt. Wenn dieses nicht geschehn ist, so dürfte der Thon oder der Béton sich gar nicht hineinbringen lassen, oder doch wenigstens nicht die

gehörige Füllung der Oeffnung bewirken, indem das durchfliefsende Wasser ihn zu stark angreift und die gelösten Theilchen heraustreibt.

Zuweilen hat man solche Quellen in besondere Fangedämme, oder auch wohl in Fässer oder Röhren eingeschlossen. Dieses Mittel ist gewifs passend, wenn der Zusammenhang der Quellen mit der übrigen Baugrube sich ganz aufheben läfst und das Wasser in der Röhre wirklich zur vollen Druckhöhe ansteigt, wodurch der fernere Zuflufs des Quells unterbrochen wird. In dieser Art wurden beim Bau der Brücke zu Orleans mehrere Quellen eingefafst. Jedenfalls mufs alsdann der Baugrund hinreichend fest sein, damit das Wasser unter dem stärkeren Drucke sich nicht daneben einen neuen Ausweg eröffnen kann. Ist dieses nicht der Fall, so läfst man das Wasser in der Röhre bis über den äufsern Wasserspiegel ansteigen und leitet es in diesen ab, erhebt es sich aber nicht so hoch, so hat man nur für die gehörige Dichtung der Röhre zu sorgen, damit keine Ausströmung in die Baugrube erfolgt. In beiden Fällen behindert diese Röhre nicht die Ausführung des Fundamentes, wenn sie neben demselben sich befindet, tritt sie aber in dieses hinein, so mufs sie durch Mauerwerk umschlossen und nach Erhärtung des letzteren durch Béton gesperrt werden, wie später mitgetheilt werden wird.

Das sicherste Mittel zum Stopfen der aus dem Grunde hervorbrechenden Quellen bietet der Béton dar, besonders wenn er über die ganze Sohle als Grundfangedamm ausgebreitet wird. Hauptbedingung ist hierbei aber, dafs man der Bétonlage hinreichende Zeit zum Erhärten läfst, bevor sie dem Wasserdrucke ausgesetzt wird, denn so lange sie noch weich ist, findet das Wasser leicht Gelegenheit hindurchzudringen und spült alsdann die Kalktheilchen heraus, so dafs der Béton an einzelnen Stellen alle Festigkeit verliert und über denselben die Quellen sich wieder zeigen.

§. 45.
Schöpfmaschinen.

Wenn bei ausgedehnten Fundirungs-Arbeiten oder sonstigen Bauanlagen grofse Wassermassen längere Zeit hindurch gewältigt wer-

den sollen, so wird man unbedingt wohlthun, aus bewährten Maschinenbau-Anstalten die Pumpen oder andere Apparate nebst den zugehörigen Dampfmaschinen zu beziehn, auf kleineren und abgelegenen Baustellen ist der Baumeister dagegen oft gezwungen, die Schöpfmaschinen selbst zusammenzustellen, oder doch ihre Ausführung speciell zu leiten, woher es nöthig scheint, einige Andeutungen über die Einrichtung und den Betrieb solcher einfacheren Maschinen mitzutheilen. Zunächst mag von den zu benutzenden Betriebskräften die Rede sein.

Die Schöpfmaschinen, deren man sich zur Trockenlegung der Baugruben bedient, werden häufig durch Menschen in Bewegung gesetzt, und namentlich findet dieses statt, wenn sie nicht lange Zeit hindurch in Thätigkeit erhalten werden dürfen, oder wenn die Wassermenge, die sie fördern sollen, ziemlich unbedeutend ist. Die Menschenkraft hat vor allen übrigen Betriebskräften den Vorzug, dafs sie sich viel unmittelbarer zur Darstellung der beabsichtigten Wirkungen benutzen läfst. Wenn z. B. eine Pumpe in Bewegung zu setzen ist, so darf man dieselbe nur mit einem Schwengel versehn, um sie durch Menschen treiben zu lassen, und selbst der Schwengel fehlt bei den Schiffspumpen, die mittelst einer Handhabe an der Kolbenstange bewegt werden. Will man dagegen die Pferdekraft zum Betriebe der Pumpe benutzen, so mufs man einen Göpel in der Nähe einrichten und die horizontale und rotirende Bewegung desselben durch eine mechanische Vorrichtung in die verticale aufund abwärts gerichtete verändern. Noch complicirter und kostbarer wird die Einrichtung, wenn man die Wasserkraft oder eine Dampfmaschine benutzt. Die Betriebskosten pflegen in beiden Fällen sich zwar niedriger zu stellen, als bei Anwendung der Menschenkraft, aber die Aufstellung der Maschine ist so theuer, dafs dieselbe lange Zeit hindurch im Gange erhalten werden mufs, um die Anlagekosten zu decken. Hieraus ergiebt sich, dafs die Wahl der Maschine durch die wahrscheinliche Dauer ihres Gebrauches bedingt wird, indem es darauf ankommt, dafs die Summe der Kostenbeträge für Einrichtung und Betrieb möglichst geringe ausfällt.

Demnächst kommt es bei der Wahl der Schöpfmaschinen für den in Rede stehenden Zweck auch sehr darauf an, dafs sie nicht viel Raum einnehmen, denn gemeinhin ist die Ausdehnung des Platzes,

wo sie aufgestellt werden sollen, sehr beschränkt. Die gewöhnliche Pumpe ist in dieser Beziehung besonders vortheilhaft, doch auch andere Maschinen und namentlich diejenigen, durch welche das Wasser senkrecht gehoben wird, bieten ähnliche Vortheile. Man darf hierbei aber nicht allein die eigentlichen Schöpfapparate berücksichtigen, denn auch die Nebentheile und namentlich diejenigen mechanischen Vorrichtungen, welche die Betriebskraft unmittelbar aufnehmen, müssen in der Nähe der Baugrube aufgestellt werden. Wollte man sie davon weit entfernen, so würde das Gestänge, oder die sonstigen Zwischenglieder, welche zur Uebertragung der Kraft dienen, einen Theil derselben consumiren und sie dadurch schwächen. Aus diesen Gründen mufs man häufig auf die Benutzung der Pferdekraft Verzicht leisten, welche sich im Uebrigen hierzu sehr wohl eignet, weil sie an sich wohlfeiler als Menschenkraft, auch leicht zu beschaffen ist, und im Vergleiche zur Dampfkraft nur einfache Einrichtungen fordert.

Ferner mufs die Schöpfmaschine, welche man wählt, das Wasser nach Umständen in verschiedene Höhe heben, wie bereits angedeutet ist. Bei den Pumpen läfst sich dieses leicht erreichen, indem man den Ausgufs beliebig hoch anbringen kann, ohne eine sonstige Aenderung vorzunehmen, und es kommt nur darauf an, dafs der Kolben beständig unter der Seitenöffnung bleibt. Sobald man aber beim Steigen des äufsern Wassers gezwungen ist, den Ausgufs zu erhöhen und die frühere Oeffnung zu schliefsen, so ist es ohne Nachtheil, wenn dieser Schlufs auch einige Unebenheiten im Innern der Pumpe darstellt.

Das Wasser, welches man heben mufs, ist gemeinhin nicht ganz rein und führt oft erdige Theilchen und selbst Sand, auch wohl andre Körper, wie Holzspähne u. dergl. mit sich. Hierdurch wird der dichte Schlufs der Kolben leicht beeinträchtigt und selbst die Ventile bleiben geöffnet, sobald fremde Körper hineinkommen. Man vermeidet solche Uebelstände zum Theil dadurch, dafs man das Wasser nahe an der Oberfläche eines tiefen Sumpfes schöpft und es durch Körbe oder durch Kasten, die siebartig mit feinen Löchern versehen sind, hindurchtreten läfst. Die Pumpen sind in dieser Beziehung am meisten der Beschädigung unterworfen und es zeigen sich daher andre Schöpfmaschinen, bei denen Ventile

oder Kolben nicht vorkommen, beim Heben des trüben Wassers dauerhafter, auch sind Reinigungen oder Reparaturen bei ihnen seltener erforderlich.

Allen Schöpfmaschinen, sowie überhaupt allen Maschinen, mufs man diejenige Geschwindigkeit geben, welche ihre Leistung vergleichungsweise zu der darauf verwendeten Kraft zu einem Maximum macht. Wollte man z. B. das geneigte Schaufelwerk sehr langsam bewegen, so würde durch den freien Spielraum, der dabei nothwendig ist, der gröfste Theil des Wassers, nachdem es etwas gehoben worden, wieder zurückfliefsen und der Effect der Maschine sich sehr vermindern. In noch höherem Grade findet dieses bei dem Wurfrade statt, welches freilich nicht zum Ausschöpfen von Baugruben benutzt wird. Letzteres leistet, wie die Erfahrung lehrt, gar nichts, sobald die Windmühle, die es gewöhnlich treibt, von einem schwachen Winde nur langsam bewegt wird. Andere Maschinen dagegen bedürfen einer gewissen Zeit, um das Wasser aufzunehmen, welches nur vermöge der Schwere in sie hineinfliefst. Diese zeigen einen unverhältnifsmäfsig geringen Effect, wenn man sie sehr schnell bewegt, wie z. B. die Kastenkünste, die Schöpfräder u. dergl. Man mufs also jedesmal für die passende Geschwindigkeit der Schöpfmaschine sorgen, doch läfst sich diese Geschwindigkeit nicht willkührlich dadurch reguliren, dafs man etwa die Kurbel sehr schnell oder sehr langsam drehn oder den Kolben einer Dampfmaschine beliebig schnell spielen läfst, denn diese Theile der Maschine, welche die Betriebskraft unmittelbar aufnehmen, müssen gleichfalls mit der für sie angemessenen Geschwindigkeit sich bewegen, wenn der Effect ein Maximum werden soll. Sonach bleibt nur übrig, durch die Zwischenglieder in der Maschine, welche die Bewegung übertragen, das bestimmte Verhältnifs der Geschwindigkeiten darzustellen, man thut aber wohl, wenn man die Kräfte gleich so wählt, dafs keine zu grofse Veränderung der Geschwindigkeit erforderlich wird.

Die Thatsache, dafs die Betriebskraft nur bei einer gewissen Geschwindigkeit ein Maximum ist, wird häufig nicht genug beachtet, und dieses vielleicht aus dem Grunde, weil man die Gröfse oder das Moment der Betriebskräfte, d. h. die Producte aus dem Drucke oder Zuge in die Geschwindigkeit durch constante Zahlen auszudrücken gewohnt ist. Wenn man z. B. das Moment

der Pferdekraft gleich 500 setzt, oder annimmt, daſs der Zug oder das senkrecht gehobene Gewicht multiplicirt in die Höhe, zu der es in der Secunde ansteigt (wobei die erste Gröſse in alten Pfunden und die letzte in Fuſsen ausgedrückt ist), die Zahl 500 giebt, so wird man leicht verleitet zu glauben, daſs dieses Product für alle Geschwindigkeiten sich immer gleich bleibt und daſs sonach der Zug immer umgekehrt der Geschwindigkeit proportional ist. Dieses ist indessen keineswegs der Fall, jene Zahl bezeichnet vielmehr das Maximum des Productes, das nur bei einer bestimmten Geschwindigkeit eintritt. Wahrscheinlich bleibt aber die Leistung des Pferdes, wenn man die dauernde und regelmäſsige Thätigkeit betrachtet, noch unter der angegebenen Gröſse, sowie überhaupt bei der Schätzung der organischen Kräfte dieselben gewöhnlich zu hoch angenommen werden, wie schon bei Gelegenheit der Rammarbeiten bemerkt wurde.

Bei Anwendung der organischen Kräfte zur Bewegung von Maschinen kommt es demnächst auch sehr darauf an, die Menschen oder Thiere auf solche Art anzustellen, wie es ihrer Natur und ihrem Körperbau am meisten zusagt. Die Aufgabe besteht immer darin, aus der ganzen Tagesthätigkeit den gröſsten Effect zu ziehn. Jede übermäſsige Anstrengung, die bald Ermüdung und Abspannung verursacht, muſs vermieden werden, und man muſs besonders diejenigen Theile des Körpers zur Aeuſserung der Kraft benutzen, welche die stärksten sind und die kräftigsten Muskeln enthalten. Der Natur des Pferdes entspricht mehr der horizontale Zug, als das Steigen, das Pferd giebt also einen gröſseren Effect, wenn es in den Göpel gespannt wird, als wenn es im Laufrade oder auf der Tretscheibe geht, aber auch im Göpel muſs es an einen langen Zugbaum gespannt werden, weil es sonst zu leicht ermüdet, indem sehr kurze Wendungen einen Theil seiner Kraft consumiren.

Noch vorsichtiger muſs man bei Anwendung der Menschenkraft sein. Die groſse Verschiedenheit der Momente derselben, jenachdem die Arbeiter zur Bewegung einer Kurbel, eines Laufrades oder auf andre Art benutzt werden, ist so augenscheinlich, daſs sie schon lange bemerkt worden ist, und man hat in der Maschinenlehre für jede dieser Anwendungen die Gröſse des Momentes zu bestimmen gesucht. Dabei wird indessen gemeinhin die Ursache

dieser Verschiedenheit nicht richtig aufgefaſst, indem man sagt, daſs ein Mensch entweder durch seine Kraft, oder sein Gewicht wirkt und im letzten Falle seine Leistung gröſser ist, als im ersten. Daſs der Mensch als todte Last oder als bloſses Gewicht eine Maschine in Bewegung setzt, kommt selten vor, und wo es geschieht, da muſs der Mensch selbst wieder die Kraft entwickeln, um sein Gewicht zu heben. Bei unbelastetem Steigen, oder indem man nur sein eigenes Gewicht hebt, ist der mechanische Effect gröſser, als bei jeder andern Kraftäuſserung.

Die Anstrengung der Muskeln in den Schenkeln und im Unterleibe tritt aber auch in vielen andern Fällen ein, wo kein eigentliches Steigen stattfindet, so z. B. beim Drehn der Erdwinde, wobei man gleichfalls einen sehr groſsen Effect erreicht, auch beim Rudern erklärt sich hierdurch allein die sehr groſse Kraftäuſserung, welche besonders durch ihre lange Dauer überrascht. Beim gewöhnlichen Pumpen, sowie beim Rammen ist gleichfalls die Kraft der Schenkel von groſsem Einfluſs, indem der Körper zur Hervorbringung eines starken abwärts gerichteten Zuges gesenkt und durch die Füſse immer von Neuem gehoben wird. Bei der Kurbel endlich treten nach dem jedesmaligen Stande derselben sehr verschiedenartige Kraftäuſserungen ein, bald hebt man sie, bald wird sie gesenkt, bald horizontal angezogen und bald abgestoſsen, der ganze Körper ist bei ihrer Drehung in fortwährender Bewegung, aber der Effect ist in den verschiedenen Perioden so verschieden, daſs eine Ausgleichung der Kraft hierbei besonders nöthig wird. Man stellt eine solche dar, indem man ein Schwungrad anbringt, oder die Achse mit zwei Kurbeln versieht, die am vortheilhaftesten unter dem Winkel von 135 Graden gegen einander verstellt sind.

Das Angeführte wird genügen, um die verschiedenen Betriebskräfte und die Art ihrer Anwendung zur Bewegung der Schöpfmaschinen zu beurtheilen. Was die Zwischentheile der Maschine betrifft, welche die Kraft übertragen, so wäre hier nur darauf aufmerksam zu machen, daſs man nicht nur eine starke Reibung, sondern auch alles Biegen und Schlottern darin vermeiden muſs, denn jeder heftige Stoſs veranlaſst Kraftverlust und schwächt die Wirkung der Maschine. Ebenso hat das Schwanken und das Verziehn einzelner Theile nicht nur eine Abnutzung derselben zur Folge, sondern auch

hierauf wird ein Theil der Betriebskraft verwendet, also der beabsichtigte Nutzeffect dadurch geschwächt.

In der nachstehenden Beschreibung derjenigen Apparate, wodurch das Wasser gehoben wird, also der eigentlichen Schöpfmaschinen, soll zunächst von denjenigen die Rede sein, welche einen heftigen Stofs dem Wasser ertheilen und es dadurch zu der erforderlichen Höhe heraufwerfen, sodann von denen, welche es in Eimern oder Kasten schöpfen und heben, ferner von solchen, wobei das Wasser in gewisse bewegliche Canäle eingeführt wird, deren Neigung man verändert und dadurch das Wasser zwingt, eine andere Stelle einzunehmen und nach dem höher gelegenen Ausgusse hinzufliefsen. Endlich aber können diese Canäle oder Rinnen auch fest sein und ihre Lage unverändert beibehalten, während Kolben sich in ihnen bewegen, die das Wasser mit sich führen. Dabei treten noch die beiden Modificationen ein, dafs entweder die Kolben sich ununterbrochen in derselben Richtung hinziehn, oder nur auf eine gewisse Höhe sich heben und alsdann sich wieder senken. Im letzten Falle wird dem Wasser nur durch einzelne Stöfse die Bewegung ertheilt.

A. Unter den Maschinen, welche durch einen heftigen Stofs das Wasser in Bewegung setzen und es aufwerfen, sind die einfachsten die Schaufeln. Man unterscheidet aber die Wurfschaufel von der Schwungschaufel, indem man unter der ersten Benennung solche versteht, die ohne weitere Befestigung nur aus freier Hand geführt werden, und unter der letzten diejenigen, welche an einem Bocke hängen. Die ersten kommen auf Baustellen wohl nie vor, weil ihre Benutzung nicht nur sehr anstrengend ist, sondern auch grofse Uebung erfordert. Die Schwungschaufeln finden häufige Anwendung bei Wasserbauten, doch seltener beim Trockenlegen der Baustellen, als beim künstlichen Ausschöpfen kleiner eingedeichter Niederungen. Fig. 239 zeigt ihre gewöhnliche Zusammensetzung, sie besteht aus fünf Brettstücken, ihre Länge beträgt 18 Zoll bis 2 Fufs und ihre Höhe und Breite 9 bis 12 Zoll. Sie ist mit einem langen Stiele versehn und hängt überdies an einem aus Stangen leicht zusammengesetzten dreibeinigen Bocke, letzterer ist etwa 8 Fufs hoch. Ein Arbeiter stöfst die Stange mit Heftigkeit in solcher Neigung fort, dafs der zugeschärfte Boden der Schaufel etwa einen Zoll tief eintaucht. Beim weitern Fortgehn hebt sich der Kasten

starke Anhaften an den Wänden zurückgehalten wird, sobald der untere Theil des Trichters sich entleert. Die in früherer Zeit versuchte Anordnung, wobei der Trichter sich nach unten verengte, war aus dem angegebenen Grunde nicht passend, und man ist daher gegenwärtig ganz davon zurückgekommen.

Die Trichter müssen immer bis über den Wasserspiegel der Baugrube mit Béton gefüllt bleiben, damit sowol der nöthige Druck auf die austretende Masse ausgeübt, als auch verhindert wird, dafs der Béton beim Durchfallen durch darüber stehendes Wasser nicht leidet. Wird die Arbeit während der Nacht oder aus andern Gründen unterbrochen, so empfiehlt es sich, namentlich wenn man Cement-Mörtel anwendet, den Trichter vollständig zu entleeren. Bei Trafsmörtel ist diese Vorsicht weniger geboten, wenn die Unterbrechung nicht zu lange dauert, da dieser in etwa 10 Stunden noch nicht so stark abbindet, dafs wirkliche Nachtheile besorgt werden könnten. Zweckmäfsig ist es indessen, auch ihn während dieser Zeit nicht ganz ruhig stehn zu lassen, vielmehr den Wächter zu instruiren, dafs er etwa alle 2 Stunden durch mäfsiges Anziehn der betreffenden Winde den Trichter etwas fortrückt.

Beim Anfüllen des leeren Trichters darf man den Béton nicht unmittelbar hineinschütten, weil er beim freien Hindurchfallen durch das Wasser zu sehr ausgewaschen und in seiner Verbindung gelöst werden würde, man mufs ihn vielmehr in Kübeln oder Kasten versenken, wie solche nachstehend beschrieben werden. Diese Art der Füllung ist so lange fortzusetzen, bis das Niveau des Wasserstandes in der Baugrube erreicht ist.

So lange der Béton sich in dem Trichter befindet, ist er der Berührung mit Wasser vollständig entzogen, beim Austreten aus der Mündung schiebt er sich dagegen in dünnen Schichten über die Dossirung der früheren Schüttung fort, und ohne Zweifel ist ein starkes Auswaschen des Mörtels alsdann unvermeidlich. Um dieses zu verhindern, oder wenigstens zu mäfsigen, hat man auf einzelnen Baustellen in Frankreich versucht, durch geneigte Tafeln vor und zur Seite der untern Mündung des Trichters, die Dossirungen zu überdecken. Es ist indessen nicht anzunehmen, dafs dadurch ein merklicher Vortheil erreicht werden kann, da beim Vorrücken des Trichters das Wasser gewifs mit grofser Heftigkeit in den zunächst noch leeren Raum unter den Tafeln einströmt. Hierzu kommt aber, dafs

derungen häufig anwendet. Seine Beschreibung findet daher ihre passendste Stelle im zweiten Theile dieses Handbuches. Régemortes hatte es indessen auch zum ersten Zwecke gebraucht und zwar aus dem eigenthümlichen Grunde, weil er auf dem bereits versenkten Dielenboden, der den Grundfangedamm überdeckte, keine vertiefte Grube oder keinen Sumpf darstellen konnte, und alle sonstigen Schöpfmaschinen einen so hohen Wasserstand zurückliefsen, dafs die Maurerarbeit nicht bequem und sicher auszuführen war.

B. Schöpfen und Heben des Wassers in Eimern oder Kasten:

Der unmittelbare Gebrauch der Handeimer zum Ausschöpfen der Baugrube kommt häufig vor und empfiehlt sich vorzugsweise dadurch, dafs keine besondere Einrichtung dazu erforderlich wird, auch die Arbeiter ohne alle Uebung diese Verrichtung ausführen können. Wenn jedoch der Effect nicht zu ungünstig ausfallen soll, so müssen manche Vorsichtsmaafsregeln beachtet werden, die in den obigen Bemerkungen über die zweckmäfsige Benutzung der Menschenkraft ihre Begründung finden. Hierher gehört, dafs die Arbeiter nicht über, sondern in dem Wasser stehn, welches sie ausschöpfen, weil sie im entgegengesetzten Falle sich jedesmal tief bücken und ihren eignen Körper von Neuem heben müfsten. Steht dagegen der Arbeiter bis an das Knie im Wasser, so kann er schon in aufrechter Stellung den Eimer füllen und ihn bequem 3, auch wohl 4 Fufs hoch heben. Eine noch gröfsere Hubhöhe wird sehr ermüdend, wenn eine solche nöthig ist, mufs man zwei Reihen Arbeiter über einander stellen, die alsdann zusammen das Wasser bis 8 Fufs heben können. In diesem Falle ist es aber nicht passend, dafs die untenstehenden Arbeiter die Eimer in ein Becken giefsen und die obenstehenden hier von Neuem schöpfen, vielmehr müssen die Eimer gefüllt auf die Rüstung gestellt und von hier weiter gehoben werden, wobei die bereits gewonnene Hubhöhe vollständig benutzt wird. Endlich ist auch dahin zu sehn, dafs die Eimer möglichst leicht und hinreichend fest sind damit sie bei dem unvermeidlichen Zusammenstofsen nicht zerbrechen. Lederne Feuereimer sind daher für diesen Zweck besonders geeignet. Solche lassen sich auch gewöhnlich leihweise beschaffen, ihre Anzahl mufs aber wenigstens eben so grofs, wie die der Arbeiter sein. In Venedig benutzt

sich nur dadurch unterscheiden, dafs die Bügel nicht an dem obern Rande, sondern tiefer abwärts, nämlich wenig oberhalb des Schwerpunktes des mit Béton gefüllten Eimers befestigt sind. Sie lassen sich alsdann durch Leinen, die an die Böden angesteckt sind, leicht umkehren und entleeren. In ähnlicher Art werden auch prismatische Kasten behandelt, die man vielfach benutzt. Sie hängen mittelst Tauen an zwei Zapfen in den Seitenbrettern, damit sie sich aber beim Anziehn der am Boden befestigten Leine leicht umdrehn, und entleeren, so giebt man ihnen einen trapezförmigen Querschnitt, oder oben eine gröfsere Breite hat, als unten.

Diese Eimer und Kasten sind jedoch, wenn man damit gröfsere Massen Béton versenken will, nicht leicht zu entleeren, aufserdem verändern sie beim Umkippen häufig ihre Lage, so dafs die Haufen sich nicht regelmäfsig neben einander stellen, man wählt daher lieber Kasten die statt der festen Böden mit beweglichen Klappen versehn sind, man öffnet diese, sobald die Kasten bis zur Sohle der Baugrube herabgelassen sind. Es kommt hierbei wieder darauf an, eine vielfache Berührung des Bétons mit dem Wasser zu vermeiden, der Kasten mufs sich daher entleeren, während seine Entfernung vom Boden möglichst geringe ist. Zu diesem Zwecke bringt man oft zwei Klappen an, die geschlossen nicht in eine Ebene fallen, vielmehr unter einem rechten Winkel gegen einander geneigt sind. Fig. 262 *a* und *b* auf Taf. XX ist ein solcher Kasten in zwei Seiten-Ansichten dargestellt. Sobald er bis auf einige Zolle dem Grunde sich genähert hat, so werden die beiden Haken, durch welche die eine Klappe an beiden Enden gehalten wird, mittelst der daran befestigten Leinen gelöst, und dadurch schlagen beide Klappen soweit zurück, wie Fig. 262 *a* in den punktirten Linien zeigt. Ist der leere Kasten demnächst wieder aufgezogen, so werden beide Klappen gehoben, und die Haken eingestellt. Diejenige Klappe, welche von den Haken gehalten wird, greift über die andre über und hält dadurch auch diese in ihrer Lage.

Am zweckmäfsigsten ist unbedingt die auf Fig. 263 dargestellte Anordnung, die gegenwärtig auch ziemlich allgemein gewählt wird. Der Kasten besteht dabei aus zwei Viertel-Cylindern, die in der Achse unter sich verbunden, und an den auswärts vortretenden Enden derselben aufgehängt sind. Aufserdem sind an ihnen noch Ketten befestigt, und indem man diese zusammen anzieht, so öffnet

darin enthaltenen Luft oft Schwierigkeiten verursacht. Um diese Mängel zu beseitigen, hat man verschiedene Modificationen eingeführt, die kurz bezeichnet werden sollen. Im Allgemeinen ist aber zu bemerken, dafs diese Maschinen eine langsame Bewegung erfordern, weil sie sonst weder gehörig das Wasser schöpfen, noch auch es an der passenden Stelle ausgiefsen.

Fig. 242 stellt eine Norie dar, welche durch eine Art von Kammrad in Bewegung gesetzt wird, oder wo die Stöcke, welche die Kette fassen, an der einen Seite aus der Radfläche hervortreten. Wenn man das ausgegossene Wasser hier vollständig auffangen will, so ist es nöthig, dafs der Trog, der es aufnimmt, nur wenig höher, als die Achse des Rades liegt, woher die Welle an dieser Seite des Rades nicht vorstehn darf, vielmehr auf der andern Seite ihre beiden Lager haben mufs. Ferner fängt man das Wasser zuweilen, wie Fig. 243 im Durchschnitte zeigt, in der Trommel selbst auf. Die beiden Ketten, zwischen welchen die Eimer befestigt sind, werden nämlich über zwei gufseiserne Scheiben geführt, deren jede sechs Arme hat, womit die Ketten gefafst werden. Die Zwischenräume zwischen je zwei Armen sind mit Blech gefüttert, so dafs sich hier abgeschlossene Tröge bilden, die jedoch eine starke Neigung nach der einen Seite erhalten, oder hier sich der Drehungsachse merklich nähern. Am häufigsten giefsen die Kasten, nachdem sie auf die obere Trommel getreten sind, das Wasser in der Richtung nach vorn aus. Besonders zweckmäfsig ist in diesem Falle die in Fig. 244 dargestellte Einrichtung, welche von Gateau herrührt und die man in Frankreich verschiedentlich mit Vortheil benutzt hat.*) Die Kasten, welche etwa 1 Fufs hoch, 6 Zoll breit und 9 Zoll lang sind, haben zwei Oeffnungen, nämlich wenn man die Stellung betrachtet, in welcher sie aufsteigen und mit Wasser gefüllt sind, so haben sie oben und zwar zur Seite neben dem schrägen Boden einen offenen Schlitz, der nicht geschlossen werden kann und durch welchen sie sich füllen und entleeren, unten dagegen ist eine kleinere Oeffnung befindlich, welche mit einem Klappenventile geschlossen ist. Sobald ein Kasten über die obere Trommel getreten ist, so öffnet sich dieses Ventil von selbst ver-

*) Vergl. Navier's Ausgabe von Bélidor's *Architecture hydraulique p.* 581 und *Recueil de dessins etc.*

die Curbeln in derselben Richtung noch weiter gedreht, so dafs die Winde noch etwa eine Umdrehung macht. Alsdann zieht der Vorarbeiter, der hinter dem Winde-Gerüst steht, das Mittel-Tau, mit welchem die an den Cylinder-Mantel befestigten Ketten verbunden sind, scharf an, indem er die Windungen desselben auf der Welle nachzieht, und das Ende dieses Taues anholt. Werden nun die Curbeln im entgegengesetzten Sinne gedreht, so dafs der Kasten sich hebt, so hängt dieser zunächst nur an dem Mittel-Tau, indem die beiden Seitentaue, die ihn an der Achse fassen, schlaff sind. Er öffnet sich daher und nimmt die Stellung an, die Fig. 263 *c* zeigt. Die cylindrischen Kasten-Wände werden also unter dem Béton hervorgezogen, so dafs dieser zum Theil nur in der Höhe der Wandstärke durch das Wasser fällt.

Ist der Kasten bis über das Wasser gehoben, so wird das Mittel-Tau nachgelassen, worauf der Kasten sich wieder schliefst. Bevor derselbe aufs Neue gefüllt wird, schiebt man aber das Windegerüst, welches zu diesem Zweck auf Rädern steht, die auf Schienen laufen, um die Länge des Kastens vor, und damit hierbei keine Irrung eintritt, so sind auf der Brücke die betreffenden Marken schon vorher kenntlich bezeichnet. In dieser Weise bildet sich ein ziemlich gleichmäfsiger Béton-Streifen über die ganze Breite der Baugrube, und damit sich an dieser der nächste genau anschliefst, so wird nunmehr die ganze Brücke, welche mit der oben (bei Gelegenheit der Versenkung durch Trichter) beschriebenen genau übereinstimmt, um die Breite eines Streifen vorgeschoben. Auch diese Entfernungen sind an den Bahnen, worauf die Räder der Brücke laufen, vorher deutlich und scharf markirt. Bei Ausführung der Béton-Bettungen für die drei Schleusen am Ihle-Canale geschah die Versenkung des Bétons in der bezeichneten Weise.

Zuweilen hat man diese halbcylindrischen Kasten auch aus Holz dargestellt, dabei pflegt aber der Uebelstand einzutreten, dafs sie von selbst aufschwimmen, nachdem sie sich entleert haben, wobei die Taue leicht in Unordnung kommen. Um das Herablassen zu erleichtern hat man auch Bremsvorrichtungen an den Winden angebracht, was bei grofsen Kasten gewifs vortheilhaft ist. Je gröfser dieselben sind, um so weniger tritt der Béton mit dem Wasser in Berührung, da die Oberfläche nicht dem cubischen Inhalte proportional ist. Man benutzt daher zuweilen Kasten, die 24 bis 30 Cu-

Eimer, sobald er leer wird, eine geneigte Stellung einnimmt und dadurch seine Anfüllung mit Wasser sich erleichtert.

Demnächst werden ähnliche Kasten oder Eimer auch an Räder angebracht. Man nennt aldann letztere Schöpfräder. Dabei hängen die Eimer zuweilen an horizontalen Achsen, um welche sie sich drehn, wie Fig. 246 zeigt. Diese Anordnung ist so einfach, dafs sie keiner weitern Beschreibung bedarf. Gewöhnlich sind die Kasten mit dem Radkranze fest verbunden. Diese Zusammenstellung nennt man gewöhnlich ein chinesisches Rad.

In der einfachsten Form trägt ein solches an seinem Umfange eine Reihe von kurzen Büchsen oder kleinen Tonnen (in China sind es Bambusröhren), die an einer Seite geöffnet, an der andern geschlossen sind. Sie werden so befestigt, dafs sie gegen die Ebene des Rades schräge stehn, und ihre offenen Enden sich der Achse mehr nähern, als die geschlossenen. Man benutzt diese Räder vielfach, namentlich zu Bewässerungen. Das grofse und in früherer Zeit berühmte Rad, welches zur Versorgung der Stadt Bremen das Wasser aus der Weser schöpfte, war gleichfalls ein solches. Gewöhnlich hängt man diese Räder in fliefsendes Wasser, und indem man sie unmittelbar mit Schaufeln versieht, so theilt ihnen der Strom die drehende Bewegung mit. Fig. 247 *a* und *b* zeigt dieses Rad in seiner gewöhnlichen Zusammensetzung.

Das in Fig. 248 *a* und *b* in der Seitenansicht und im Durchschnitte dargestellte Rad ist wesentlich dasselbe, nur werden die cylindrischen Büchsen oder Eimer durch Kasten ersetzt, die viel gröfsere Wassermassen fördern. Perronet wandte zur Trockenlegung der Baugrube der Brücke bei Neuilly ein solches Rad von 14 Fufs Durchmesser und 3¼ Fufs Breite an. Das Wasser wurde damit 9 Fufs hoch gehoben und die Bewegung ging von einem Wasserrade aus, das in der Seine hing. Auch beim Bau des Hafens am Salzmagazine zu Berlin wurde ein Rad dieser Art benutzt, welches durch Menschen gedreht wurde.

C. Unter denjenigen Schöpfmaschinen, welche in gewissen beweglichen Canälen das Wasser heben, durch deren veränderte Neigung dieses nach der Ausflufsmündung gelangt, verdient zunächst der Wipptrog erwähnt zu werden, der entweder einfach oder doppelt ist. Fig. 249 stellt einen doppelten Wipptrog vor, wie er beim Bau der Brücke zu Orleans angewandt wurde.

tern veranlassen, welche nach Trockenlegung der Baugrube ein knollenartiges Gefüge zeigen.

Um das ganze Verfahren bei der Bétonfundirung zu beschreiben, wähle ich zuerst den Fall, dafs der Baugrund aus Sand oder Kies besteht, und setze voraus, dafs sich sehr starke Quellen in demselben bilden würden, wenn man die Fundirung in gewöhnlicher Art vornehmen und das Wasser auspumpen wollte. Diese Quellen lockern aber den Sand auf und vermindern daher die Tragfähigkeit des Bodens, woher die Pumpen nicht früher in Thätigkeit gesetzt werden dürfen, als bis man den Béton aufgebracht hat und derselbe so vollständig erhärtet ist, dafs die Quellen nicht mehr hindurchdringen können. Man gräbt gewöhnlich den Boden bis zu derjenigen Tiefe aus, die man ohne Anwendung von Schöpfmaschinen erreichen kann. Alsdann müssen Baggermaschinen aufgestellt werden. Die nähere Beschreibung derselben ist im dritten Theile dieses Werkes gegeben, hier mag nur bemerkt werden, dafs man durch sie auch recht ebene Flächen darstellen kann, die wenigstens keine Erhebungen zeigen, die gröfser als etwa 3 Zoll sind. Man könnte in ähnlicher Art, wie §. 43 bei Gelegenheit des Brückenbaus zu Moulins beschrieben ist, auch durch Abstreichen eine noch vollständigere Einebnung hervorbringen, auch würde, falls das Wasser sehr trübe ist und sonach ein starkes Absetzen von Baggerschlamm befürchtet werden müfste, eine Ueberschüttung mit grobem Kies vortheilhaft sein, wozwischen der Schlamm sich lagern kann, ohne den Béton darüber zu verunreinigen. Dieses Verfahren ist bei der Fundirung der Eingangsschleuse in den Canal St. Martin wirklich in Anwendung gekommen. *)

Falls der Boden nicht aus sehr feinem Sande besteht, so kann man selbst bei durchlässigem Untergrunde den Wasserspiegel durch Auspumpen bis zu einer gewissen Tiefe und oft einige Fufs tief senken, ohne die Tragfähigkeit des Bodens zu beeinträchtigen. Der hierdurch erreichte Vortheil ist zuweilen sehr bedeutend, indem alsdann die Graben-Arbeit weiter fortgesetzt werden darf, die gemeinhin viel wohlfeiler als die Baggerung ist, aufserdem gewinnt man auch, wenn später die Pumpen aufser Thätigkeit gesetzt werden, eine Wassertiefe, in welcher die Baggermaschinen schwimmen können.

---

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1832. *I. p.* 87.

weil kein Kraftverlust durch plötzliche Verminderung der Geschwindigkeit entsteht, und endlich findet dabei keine andre Reibung statt, als nur die sehr mäfsige Achsen-Reibung. Beim Bau der Brücke zu Orleans wurde dieses Rad benutzt, es war 25 Fufs hoch, im Lichten 1¼ Fufs breit und wurde dadurch in Bewegung gesetzt, dafs an jeder Seite des Schöpfrades ein Laufrad angebracht war, worin Arbeiter gingen. Am vortheilhaftesten stellte sich die Wirkung des Rades heraus, wenn es nur 6 bis 9 Zoll tief eintauchte, und seine Leistung übertraf alsdann die von allen sonstigen Maschinen, welche durch eine gleiche Anzahl Arbeiter bewegt wurden. Sehr nachtheilig war es, dafs man mit diesem Rade, das so vielen Raum einnahm und so schwer zu versetzen war (es wog 7000 bis 8000 Pfund), doch keine gröfsere Hubhöhe, als etwa von 8 Fufs erreichen konnte.

Demnächst gehört in diese Klasse der Schöpfmaschinen die Wasserschnecke oder die Archimedische Schnecke. Dieselbe gewährt beinahe alle Vortheile des Schneckenrades und hat den grofsen Vorzug, dafs sie leicht aufzustellen ist und in einem beschränkten Raume Platz findet, auch dafs ihre Wirksamkeit durch ein tiefes Eintauchen nicht beeinträchtigt wird und man sie also in die gefüllte Baugrube stellen und, ohne ihre Lage zu verändern, so lange gebrauchen kann, als sie überhaupt noch Wasser schöpft. In Frankreich ist die Schnecke die gewöhnlichste Schöpfmaschine und die erwähnten Vortheile machen sie gewifs höchst empfehlenswerth, wozu noch kommt, dafs sie bei der Abwesenheit aller Ventile und jedes künstlichen Verschlusses auch durch trübes Wasser und Sand eben so wenig leidet, wie das Schöpfrad. Fig. 251 zeigt die Anordnung und Aufstellung der Schnecke. Sie hat im Durchmesser 18 bis 24 Zoll. Ihre Länge beträgt etwa 20 Fufs und sie wird gewöhnlich so gestellt, dafs sie 8 Fufs hoch das Wasser hebt. Die einzelnen Gänge müssen ziemlich schmal sein, weil sie sich sonst nicht gehörig mit Wasser füllen, woher man gewöhnlich ein doppeltes oder auch wohl ein dreifaches Gewinde darstellt. Man erreicht hierdurch noch den Vortheil, dafs das Wasser gleichmäfsiger ausströmt, als wenn nur ein einzelner Gang angebracht wäre. Die Figur zeigt an beiden Seiten die äufsere Ansicht der Schnecke oder ihren Mantel. In der Mitte ist der Mantel entfernt gedacht, so dafs man die aus Brettchen gebildeten Gänge sieht, und zum Theil

fehlen auch diese, so dafs die mittlere Welle hervortritt. Die Anzahl der Brettchen beträgt für jede Windung 20 bis 24, man pflegt sie häufig nur an der obern Seite abzuschmiegen und an der untern, wo sie weniger mit dem Wasser in Berührung sind, stufenartig vor einander vortreten zu lassen. Sie greifen mit Zapfen in die Nuthe der Welle ein, unter sich sind sie mit hölzernen Nägeln verbunden, die gleich beim Zusammensetzen eingelassen werden, und ihr äufseres Ende greift wieder in eine Nuthe, welche in die schmalen Bretter des Mantels eingeschnitten ist. Die Anfertigung der Schnecke erleichtert sich insofern, als alle Brettstückchen einander gleich sind und daher nach derselben Chablone geschnitten werden können. Die Zusammenfügung des Schraubenganges, so wie sein Anschlufs an die Welle und den Mantel erfordert grofse Sorgfalt, weil ein wasserdichter Schlufs wegen der langsamen Bewegung dringendes Erfordernifs ist. Hierzu dienen besonders die Zugbänder, die etwa in 4 Fufs Abstand um den Mantel gelegt sind. Im Hâvre sah ich eine Schnecke anfertigen, welche von der beschriebenen Construction insofern abwich, als die Gänge nicht in eine Nuthe des Mantels eingriffen, sondern nur stumpf dagegen stiefsen. Nachdem die Brettchen, welche die Schraubengänge darstellten, über getheerte Leinwand in die Fuge der Welle eingesetzt und scharf zusammengetrieben, auch in den Stofsfugen gedichtet waren, legte man die Schnecke in den Rahmen, worin sie später aufgestellt werden sollte, und indem man sie drehte, so arbeitete man nach einem Lineale den äufsern Rand der Gänge sehr genau cylindrisch ab. Alsdann wurden Latten von 3 Zoll Breite, welche den Mantel bilden sollten und die im Innern nach der passenden Form etwas hohl gehobelt waren, mit sehr weiten Fugen aufgelegt, durch Zugbänder fest zusammengetrieben, und gegen die Schraubengänge gedrückt. Es blieben sonach nur die Zwischenräume in dem Mantel zu dichten, und dieses geschah durch das beim Schiffsbau übliche Breven, indem aufgelockertes Tauwerk mit passenden Eisen fest hineingetrieben und sodann heifses Pech darauf gegossen wurde. Diese Methode ist jedoch in Frankreich nicht allgemein üblich, vielmehr ist die zuerst erwähnte Verzapfung wohl am häufigsten im Gebrauche, auch läfst man zuweilen die Bretter, welche den Mantel bilden, durch Spundung in einander greifen.

Aus den Versuchen, die d'Aubuisson und Hachette anführen, ergiebt sich, daſs eine Schnecke am vortheilhaftesten wirkt, wenn sie unter 30 Graden gegen den Horizont geneigt ist, doch stellt man sie auch unter 45 Graden auf. Eben so hat man die passendste Steigung der Schraubengänge durch Versuche festzustellen sich bemüht, doch fielen diese nicht entscheidend aus. Jedenfalls muſs man aber dafür sorgen, daſs das Wasser nicht zurückflieſst. Nach den von Mallet angestellten Beobachtungen konnte mittelst einer Schnecke von dreifachen Gängen, die 19 Fuſs lang war und 19 Zoll im Durchmesser hatte, durch 9 Arbeiter, die in der Minute 35 Umdrehungen machten, eine Wassermenge von 1358 Cubikfuſs in der Stunde auf 10¼ Fuſs Höhe gehoben werden. Gewöhnlich rechnet man in Frankreich, daſs ein Arbeiter, der während des Tages 6 Stunden hindurch wirklich die Schnecke dreht, in der Stunde 485 Cubikfuſs, 3 Fuſs 2 Zoll, hoch hebt. Die Arbeit an der schrägen Kurbel ist aber sehr unvortheilhaft, und man muſs daher für eine zweckmäſsigere Anstellung der Leute sorgen.

In neuerer Zeit werden häufig Schnecken in viel gröſseren Dimensionen in Eisenblech ausgeführt und durch Dampfmaschinen bewegt, damit sie aber bei groſsen Längen nicht durchbiegen, so versieht man sie in der Mitte mit einem abgedrehten starken eisernen Ringe, der von zwei Rollen getragen wird.

Häufig tritt der Anwendung der Wasserschnecke das Vorurtheil entgegen, daſs man glaubt, sie höre auf zu wirken und könne kein Wasser heben, sobald ihre untere Mündung nicht zum Theil über der Oberfläche des Wassers liegt, so daſs jeder einzelne Gang abwechselnd Wasser und Luft schöpft. Wenn dieses richtig wäre, so würde man gezwungen sein, die Schnecke nach dem jedesmaligen Stande des Wassers in der Baugrube zu verstellen. Bei den Bauten an dem Ems-Canale bei Lingen hatte man, um dieser Bedingung zu genügen, ohne die Maschine verstellen zu dürfen, den Mantel der Schnecke vielfach durchbohrt, damit die Luft Zutritt erhalten sollte. Ein starker Wasserverlust war die natürliche Folge dieser Anordnung. Daſs die Vorsicht in Betreff der Zuleitung der Luft ganz überflüssig ist, ergiebt sich daraus, daſs man in Frankreich und ebenso in Holland und im südlichen Deutschlande, wo die Schnecke oft benutzt wird, hierauf gar keine Rücksicht nimmt und man sie beim jedesmaligen Beginne der Arbeit tief unter Wasser stellt. Jenes

Ich setze voraus, daſs an beiden langen Seiten der Baugrube auf dem Bétonbette Fangedämme aus Béton aufgeführt sind, welche das Aufschwimmen des ganzen Bettes durch ihr Gewicht verhindern, daſs sie aber einem Bruche in der Mitte des Bettes nicht entgegenwirken, sondern in diesem Falle eine drehende Bewegung annehmen können, ohne die Höhenlage ihres Schwerpunktes zu verändern. Hiernach bestimmt sich die Kraft, welche auf den Bruch hinwirkt durch den Druck des Wassers gegen denjenigen Theil des Bétonbettes, welcher zwischen den Fangedämmen liegt, und diesem Drucke wirkt sowohl das Gewicht von eben diesem Theile des Bétonbettes, als dessen Festigkeit entgegen. Bezeichnet man mit

b die Breite des Bétonbettes zwischen den Fangedämmen,
e die Dicke desselben,
h die Höhe des äuſsern Wasserstandes über dem Bétonbette,
m die absolute Festigkeit des Bétons in Pfunden, und zwar für die angenommene Maaſseinheit, nämlich den Quadratfuſs,
γ das Gewicht eines Cubikfuſses Wasser und mit
$p\gamma$ das Gewicht eines Cubikfuſses Béton;

so ist für den am meisten zu besorgenden Bruch, nämlich in der Mittellinie der Fundirung, das Moment des Wasserdruckes gegen den halben Boden des Bétonbettes und zwar für einen Abschnitt desselben von 1 Fuſs Breite

$$\tfrac{1}{2}\, b\,(h + e)\,\gamma \,.\, \tfrac{1}{4}\, b$$

und das Moment vom Gewichte des Bétonbettes

$$\tfrac{1}{2}\, b\, e\, p\, \gamma \,.\, \tfrac{1}{4}\, b$$

Bei Bestimmung des Momentes der relativen Festigkeit ist darauf Rücksicht zu nehmen, daſs die rückwirkende Festigkeit des Bétons ohne Vergleich viel gröſser als die absolute ist, und daher die neutrale Achse nahezu in der Oberfläche des Béton-Bettes liegt. Jenes Moment ist also

$$e\, m \,.\, \tfrac{1}{3}\, e$$

und die Bedingung des Gleichgewichtes

$$\tfrac{1}{8}\, b^2\, \gamma\,(h + e) = \tfrac{1}{8}\, b^2\, e\, p\, \gamma + \tfrac{1}{3}\, e^2\, m$$

Durch Auflösung dieser Gleichung läſst sich der Werth von e bestimmen.

Bei der Schleuse in Ruhrort war

$$b = 29 \text{ Fuſs}$$
$$e = 3{,}5 \text{ Fuſs.}$$

ben befindet, von der immer mehrere gleichzeitig in der Röhre sind und diese durchlaufen, so ist ein genauer Schlufs der Kolben gegen die Röhrenwand nicht mehr nothwendig, und die Reibung, die ein solcher veranlassen würde, kann vermieden werden, so lange man für sehr schnelle Bewegung der Kolben sorgt.

Unter diesen Maschinen, bei welchen die Kolben an Ketten ohne Ende befestigt sind, wird das geneigte Schaufelwerk am häufigsten benutzt. Eine Rinne, die im Lichten 1 bis 2 Fufs breit und 6 Zoll bis 1 Fufs hoch ist, wird aus Bohlen zusammengesetzt und in den Fugen gehörig gedichtet, so dafs sie die wasserdichte Röhre oder den Förderkasten bildet. Man legt sie so, dafs ihr oberes Ende in die Ausgufsrinne reicht und das untere Ende sich ganz unter Wasser befindet. Eine Kette ohne Ende, woran sich die Kolben oder Schaufeln befinden, ist durch sie hindurchgezogen und wird über ihr in einer zweiten Rinne, oder in dem Laufkasten, wieder zurückgeführt. Um diese Kette in Bewegung zu setzen, und um sie zugleich regelmäfsig in die Rinne einzuführen und hindurchzuziehn, sind an beiden Enden Trommeln angebracht. Auf beide Trommeln legen sich die Kettengelenke gehörig schiefsend auf, und werden von der obern Trommel so sicher gefafst, dafs die Bewegung derselben sich vollständig auf die Kette überträgt und ein Abgleiten nicht zu besorgen ist.

Die Bewegung kann durch Menschen oder durch Wasserkraft erfolgen, auch ist die Anwendung eines Pferdegöpels hierbei nicht ungewöhnlich, und namentlich wird das geneigte Schaufelwerk in den Niederlanden, wo man es auf Baustellen vielfach sieht, gemeinhin durch Pferde getrieben. Auf den Fangedamm wird ein Göpel gestellt, der vorzugsweise durch einen starken und gehörig verstrebten Bock gehalten wird. An dem Tummelbaume befindet sich unter dem Boden, worauf die Pferde gehn, ein Kammrad von 10 bis 16 Fufs Durchmesser, und dieses greift in einen Trilling, der an seinem andern Ende die Trommel der Kette trägt. Diese Trommel hat wieder die Gestalt eines Trillings, wobei die Stöcke jedoch aus Eisen bestehn. Gewöhnlich hat die Trommel acht Stöcke, und ihr Durchmesser oder der Abstand der Stöcke von der Achse mufs so gewählt sein, dafs beim Umlegen der Kette um dieselben sich wieder ein regelmäfsiges Achteck darstellt. Wenn die Trommel nur vier Stöcke hat, so bildet sich zwischen den beiden Kettengliedern, die mit ihren

Enden auf denselben Triebstock treffen, jedesmal ein rechter Winkel, und sonach zieht der Triebstock, indem er immer senkrecht gegen das vorhergehende Kettenglied drückt, sehr sicher die Kette herauf. Wird die Anzahl der Triebstöcke etwa fünf oder sechs, so findet dieses nicht mehr mit derselben Sicherheit statt, und man mufs alsdann für die gehörige Spannung der Kette sorgen, weil sie sonst abgleitet. Vergröfsert sich die Anzahl der Triebstöcke aber noch mehr und steigt sie auf acht, so läfst sich die Kette durch das blofse Anlegen der Stöcke nicht mehr sicher fassen, man mufs also in diesem Falle noch einen besondern Eingriff bilden, und dieses geschieht am einfachsten, indem jedes Kettenglied dicht hinter seiner Achse mit einem Ansatze versehn wird, wogegen der Triebstock stöfst. Fig. 258 auf Taf. XIX zeigt bei *A* diese Ansätze. Die Bewegung der Kette ist in der Richtung von der linken Seite nach der rechten gedacht. Dafs man die Anzahl der Triebstöcke über vier vermehrt, geschieht aus verschiedenen Gründen. Fürs Erste ist bei vier Stöcken der Unterschied im Zuge sehr bedeutend, je nachdem die Kette auf eine Ecke trifft, oder eine Seite des Vierecks berührt. Durch Vergröfserung der Seitenanzahl der Trommel wird dieser Uebelstand, wenn auch nicht ganz beseitigt, doch sehr vermindert. Sodann lassen sich auch die Kettenglieder auf eine Trommel, die nur vier Stöcke hat, nicht gehörig auflegen, indem die daran befestigten Schaufeln schon gegen die Welle stofsen. Endlich aber ist es für die Zusammensetzung der Tröge und zur Darstellung der nöthigen Steifigkeit auch vortheilhaft, wenn der Förderkasten vom Laufkasten etwas entfernt wird, wozu wieder die Vermehrung der Triebstöcke dient. Am untern Ende der Kasten befindet sich eine zweite Trommel, die der obern gleich ist, und von der die Schaufeln in den Kasten eingeführt werden, ohne an die Seitenwände oder den Boden anzustofsen. Man erreicht dieses am leichtesten, wenn man den Boden sowohl des obern, als des untern Kasten möglichst weit unter diejenige Trommel hinführt, von welcher er die Kette aufnimmt. Die beiden Kasten sind unter sich durch übergelegte Rahmen oder Zwingen verbunden, die in Abständen von 4 bis 6 Fufs angebracht sind, an diese Zwingen sind auch die Wangenstücke befestigt, in welchen die Achsen der beiden Trommeln sich drehen, und gemeinhin ist noch die Vorrichtung angebracht, dafs die

Pfannen der untern Trommel sich weit herabschieben und festkeilen lassen, um die Ketten gehörig zu spannen.

Die Anordnung der Ketten ergiebt sich aus den Figuren. Zwei Ketten sind neben einander befindlich, deren Glieder durch gemeinschaftliche Achsen verbunden sind. Jedes Glied ist an dem einen Ende gabelförmig gespalten, und umfaſst das Ende des nächsten Gliedes. Die Glieder greifen durch die hölzernen Schaufeln, und halten dieselben an der einen Seite durch Ansätze und an der andern durch vorgesteckte Splinte. Gewöhnlich laufen die Schaufeln unmittelbar über die Boden der Kasten, indem sie sich dabei aber stark abnutzen, so legt man zuweilen, wie auch in den Figuren angegeben ist, an beide Seiten jedes Kastens Eisenschienen, und versieht die Schaufeln mit entsprechenden flachen Einschnitten, die mit Eisenblech verkleidet werden. Der freie Spielraum ringsum her beträgt etwa 6 Linien. In Frankreich wird häufig statt zwei Ketten nur eine benutzt, die aber so breit sein muſs, daſs sie sich noch regelmäſsig auf die Trommeln auflegt: dieselbe besteht alsdann aus Holz.

Mehrfach sah ich in den Niederlanden diese Schaufelwerke so angeordnet, daſs die Kette nur etwa die Hälfte der Geschwindigkeit der Pferde hatte. Wenn letztere nur im Schritt gingen, so bewegten sich die Schaufeln nicht schnell genug, um das Zurückflieſsen des Wassers zu verhindern. Man trieb sie daher zu schnellem Trabe an, doch ermüdete sie dieses so sehr, daſs nach wenigen Minuten schon Pausen eintreten muſsten, die ungefähr doppelt so lang, als die Arbeitszeiten waren.

Ueber die Neigung, welche man dem Schaufelwerke geben muſs, um den möglichst gröſsten Effect zu erreichen, sind die Ansichten ziemlich verschieden. In den Niederlanden werden sie gemeinhin unter einem Winkel von etwa 30 Graden gegen den Horizont aufgestellt.

Die Kettenpumpe oder das Paternosterwerk ist dem geneigten Schaufelwerke ähnlich, und unterscheidet sich dadurch von demselben, daſs es senkrecht steht. Seine gewöhnliche Anordnung ist diese: ein hölzernes Pumpenrohr, daſs etwa 4 Zoll weit gebohrt ist, bildet die Röhre, worin das Wasser gehoben wird, eine Kette ist hindurchgezogen, die an der äuſsern Seite desselben herabgeht,

und an ihr befinden sich die einzelnen Kolben oder Scheiben, die das Wasser heben. Die Kette erhält ihre Bewegung durch eine hölzerne Walze, in welcher sechs gabelförmige Arme angebracht sind. Obgleich die Maschine dieser Art sich oft recht günstig gezeigt hat, so findet sie dennoch nur selten Anwendung, weil die gewöhnliche Kette nicht sicher von den Gabeln gefafst wird. Bald greifen die Gabeln gar nicht ein, so dafs die Kette darüber gleitet und für eine kurze Zeit stehn bleibt, bald dagegen kommt eine Scheibe gerade auf eine Gabel zu liegen und verursacht eine solche Spannung der Kette, dafs man die Walze zurückdrehn und die Kette etwas verschieben mufs, der gewöhnlichste und zugleich auch der unangenehmste Fall ist aber, dafs die Kette sich fest klemmt und nicht von selbst aus der Gabel fällt. Alsdann mufs die Maschine angehalten und die Kette gewaltsam herausgerissen werden.

Das regelmäfsige Eingreifen der Kette in die Trommel läfst sich indessen ebenso leicht darstellen, wie bei dem geneigten Schaufelwerke und der Norie, man hat dieses auch mehrfach bereits versucht und namentlich ist es auf der englischen Marine geschehn, woselbst die Kettenpumpe die gewöhnliche Wasserhebungsmaschine geworden ist, sobald es darauf ankommt, grofse Wassermassen herauszuschaffen. Die Kette hat hier dieselben Ansätze, welche Fig. 258 *a* für das Schaufelwerk zeigt, doch kann man auch die Gabelwalze zu diesem Zwecke beibehalten. Ich will eine Anordnung dieser Art beschreiben, die ich bei zwei Pumpen gewählt habe, welche einen regelmäfsigen Betrieb zuliefsen und sehr günstige Resultate gaben. Diese Pumpen waren zum Heben gesunkener Seeschiffe bestimmt und sollten im Allgemeinen nach dem Muster derjenigen gebaut werden, welche mehrfach zu gleichem Zwecke in Neufahrwasser benutzt waren und sich daselbst sehr vortheilhaft gezeigt hatten. Die letzteren glichen dem Paternosterwerke, dessen sich Perronet bediente, und das Eytelwein in seiner praktischen Anweisung zur Wasserbaukunst beschrieben hat: ein Unterschied fand nur insofern statt, als das Rohr auf 7½ Zoll Weite gebohrt war. Beim Gebrauche dieser Pumpe zeigten sich indessen die erwähnten vielfachen Unterbrechungen und eben deshalb gab ich der Kette eine andere Einrichtung. Fig. 259 *a* und *b* ist die Ansicht der ganzen Pumpe von der Seite und von vorn, und Fig. 260 *a*, *b* und *c* zeigt die gewählte Construction der Kette und der Gabeln.

In Betreff der Kette ist zu erwähnen, dafs die Schraubenbolzen, welche zwischen je zwei Gliedern die Verbindung darstellen, sich nicht drehn dürfen, denn sobald dieses geschieht, so lösen sich leicht die Muttern und alsdann stürzt die Kette herab. Man vermeidet dieses dadurch, dafs man in dem gabelförmigen Ende jedes Gliedes neben dem Kopfe des Bolzens das Loch nicht rund, sondern viereckig macht und dem Bolzen selbst an dieser Stelle einen quadratischen Querschnitt giebt. Den Gabeln darf die Abrundung am Ende nicht fehlen, weil sonst das breite Ende des vorhergehenden Gliedes, womit die Kette sich auf die Gabel stützt, sich nicht lösen würde. Die vordere Seite jeder Gabel *D* mufs so gekrümmt sein, dafs sie einen Kreisbogen bildet, dessen Mittelpunkt in die Drehungs-Achse des nächst folgenden Kettengliedes *B* fällt. Dafs alle einzelnen Kettenglieder und Gabeln nach gehörigen Chablonen angefertigt werden müssen, versteht sich von selbst, aber eine besondre Schwierigkeit verursacht dabei die Befestigung der Gabeln. Der Versuch, dieselben in recht sorgfältig vorgebohrte Löcher einzutreiben, misrieth, und ich wählte daher das in derselben Figur darstellte Verfahren. Die eichene Walze, die 1 Fufs stark und eben so breit war und welche schon vorher starke eiserne Ringe auf beiden Seiten erhalten hatte, wurde in ihrer Mitte in drei Richtungen durchbohrt, und diese Bohrlöcher durch Ausstemmen in viereckige, $1\frac{1}{2}$ Zoll breite und 2 Zoll lange regelmäfsig durchgreifende Oeffnungen verwandelt. Jede Gabel hatte unten ein Auge, in welches die eiserne Achse pafste, die Enden der Gabeln, worin sich diese Augen befanden, waren aber angemessen gekröpft, wie Fig. 260 *c* zeigt, wodurch es möglich wurde, die Mittellinien der sämmtlichen Gabeln in dieselbe Ebene zu bringen. Das Einsetzen der Gabeln erfolgte in der Art, dafs sie der Reihe nach in die Walze gestellt, und demnächst die Achse durch die Augen hindurchgesteckt wurde. Die Achse war an einer Seite vierkantig ausgeschmiedet, und sobald sie recht fest in die Walze eingetrieben wurde, so steckten die sämmtlichen Gabeln zwar nur lose darauf und man konnte sie beliebig nach vorn und nach der Seite bewegen, aber ihre Entfernung von der Achse war bereits vollständig gesichert. Hierauf liefs ich letztere auf Pfannenlager legen, so dafs sie gedreht werden konnte, und unter fortwährendem Nachmessen der Entfernungen zwischen den einzelnen Gabeln und unter beständiger Prüfung, ob die Einschnitte in allen Gabeln auch in dieselbe Ebene fielen, wur-

den Keile von Buchenholz in die Oeffnungen der Walze eingetrieben, worüber endlich noch starke Bleche genagelt wurden. Auf solche Art gelang es, die Gabeln genau einzustellen. Sie sind in der Mitte 1 Zoll breit und ebenso stark. Die Kettenglieder sind von Mitte zu Mitte des Bolzenloches 1 Fuſs lang, wurden aber in dieser Beziehung noch besonders sorgfältig geprüft und zwar mittelst eines eisernen Lineales, worin zwei Bolzen fest eingeniethet waren. Diejenigen Glieder, welche keine Scheiben tragen, sind in der Mitte $\frac{1}{2}$ Zoll breit und stark, sie haben an einem Ende einen und am andern zwei kreisförmige Lappen von $1\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser, der einzelne Lappen ist $\frac{3}{8}$ Zoll stark, jeder von den doppelten $\frac{5}{16}$ Zoll. Die Bolzen halten aber $\frac{5}{8}$ Zoll im Durchmesser. An jedes vierte Glied ist eine Scheibe angebracht. Ein solches Glied ist breiter und mit einem Ansatze versehn, an letzteren lehnt sich zunächst eine eiserne Scheibe, auf diese folgt eine mit eisernen Ringen beschlagene hölzerne Scheibe und dann das $\frac{1}{4}$zöllige Leder, worüber wieder eine hölzerne und eine eiserne Scheibe liegen. Ein hindurchgetriebenes Splint verbindet Alles fest mit einander. Am untern Ende der Pumpe läuft die Kette über keine zweite Walze, daselbst ist nur ein starker, gehörig abgerundeter Klotz angebracht, um sie sicher und ohne daſs sie gegen die Ecken stöſst, in die Röhre zu leiten.

Die Lederscheiben hatten Anfangs denselben Durchmesser, wie die Röhre, doch zeigte es sich, daſs die Reibung alsdann zu stark wurde. Ich lieſs daher die Scheiben ringsum einen halben Zoll abschneiden, so daſs sie nunmehr einen Spielraum von einem vollen Zolle hatten. Der Erfolg entsprach ganz der bereits erwähnten Erscheinung, daſs sich nämlich kein Wasserverlust zeigte, sobald die Geschwindigkeit nur hinreichend groſs war. Ein mehrmals wiederholter Versuch ergab, daſs bei einer Geschwindigkeit der Kette von $4\frac{3}{4}$ Fuſs in der Secunde die geförderte Wassermenge sehr genau einem Wassercylinder entsprach, der $4\frac{1}{2}$ Fuſs hoch war und die Weite des Bohrloches zum Durchmesser hatte, diese Weite war bei der einen Pumpe 8 und bei der andern 9 Zoll. Das Wasser ergoſs sich dabei so stark, daſs es über die 1 Fuſs hohe Wand der aufgesetzten Rinne herüberfloſs. Die Bewegung erhielt die Maschine durch zwei Kurbeln, woran 4 Mann arbeiteten, auſserdem waren an jede Kurbel zwei Zugstangen angebracht, woran 16 Mann zogen.

Alle 10 Minuten mufste jedoch eine Ablösung erfolgen und man brauchte, um die Maschine einige Stunden hindurch im Gange zu erhalten, 60 Mann: in der Secunde wurden nahe 2 Cubikfufs 10 Fufs hoch gehoben. Bei Anwendung dieser Pumpe zum Heben eines mit Ballast beladenen Schiffes wurde eine Menge Sand und sogar feiner Kies mit herausgeworfen, ohne dafs der Gang der Maschine dadurch beeinträchtigt wäre.

Diese sehr grofse Anstrengung, welche in der kürzesten Zeit die Kräfte der Arbeiter erschöpfte, entsprach gewifs nicht den Bedingungen eines geregelten Maschinen-Betriebes, die Aufgabe, um deren Lösung es sich hier handelte, war indessen eine ganz ungewöhnliche. Die Wasserwältigung durfte nur eine oder zwei Stunden hindurch fortgesetzt werden, nämlich nur so lange, bis das Schiff aufschwamm und in den Hafen vor die Baustelle gebracht werden konnte, während dieser Zeit mufste die Maschine aber soviel Wasser abführen, als durch den Leck zuflofs. Es kam daher darauf an, eine möglichst grofse Anzahl von Menschenkräften gleichzeitig auf die Maschine wirken zu lassen, um den Effect so zu steigern, dafs das Schiff unerachtet der dauernden Zuströmung durch den Leck sich schwimmend erhielt. Gelang dieses nicht, so war das Pumpen ganz zwecklos. Bald nach Ausführung dieser Maschinen wurden zwei Schiffe damit gehoben und in den Hafen gebracht.

Es dürfte hier die passendste Stelle sein, derjenigen Wasserhebungs-Maschine zu erwähnen, welche in neuster Zeit vielfach und immer mit dem besten Erfolge zur Trockenlegung von Baugruben angewendet ist. Dieses ist die Kreiselpumpe. Für gröfsere, wie für kleinere Steigehöhen eignet sie sich, sie nimmt wenig Raum ein, die Reibung ist in ihr sehr unbedeutend, da nur eine Achse gedreht wird, vorzugsweise aber empfiehlt sie sich für diesen Zweck, indem kein Ventil und kein Kolben darin vorkommt, also beim Heben von unreinem Wasser sie nicht leidet, noch ihren Dienst versagt. Sie wirft mit dem Wasser nicht nur den eintretenden Sand, sondern selbst Kies bis zu 1 Zoll Gröfse auf, ohne dafs ihre Wirksamkeit dadurch beeinträchtigt wird. Eine nähere Beschreibung und Zeichnung derselben gehört aber nicht hierher, da ihre Anfertigung nur in einer Maschinenbau-Anstalt erfolgen kann.*)

*) Eine detaillirte Beschreibung der Einrichtung und Wirksamkeit einer Kreiselpumpe befindet sich in Erbkam's Zeitschrift für Bauwesen. 1855. S. 107.

Endlich sind noch diejenigen Schöpfmaschinen zu erwähnen, wobei der Kolben in einer Röhre abwechselnd sich auf- und abbewegt, also die Pumpen. Ich übergehe ihre Beschreibung, da sie genugsam bekannt sind, und bemerke nur, daſs sie sich für die Trockenlegung einer Baugrube wegen ihrer mäſsigen Anschaffungskosten, sowie wegen des geringen Raumes, dessen sie zur Aufstellung bedürfen, sehr wohl eignen. Auch erlauben sie, die Ausguſsöffnung beliebig hoch anzubringen, und man kann sie, wenn es nöthig sein sollte, in jeder beliebigen Neigung aufstellen. Dagegen ist die Abwechselung der Bewegung, die bei jedem Zuge erfolgt, mit einigem Kraftverluste verbunden und veranlaſst gemeinhin einen starken Wasserverlust, besonders wenn die Kolben und die Ventile nicht dicht sind. Endlich aber werden die Pumpen bei unreinem Wasser, und besonders wenn dasselbe Sand enthält, bald undicht, bedürfen daher häufiger Reparaturen. Will man hölzernen Pumpen gröſsere Dimensionen geben, so setzt man sie aus vier Bohlen zusammen, dieses sind die Bohlen-Pumpen. Statt der hölzernen Pumpen finden jedoch die guſseisernen auf den Baustellen immer mehr Anwendung, da sie für sehr mäſsige Preise leicht zu beziehn sind. Gewöhnlich bestehn sie aus zwei Stiefeln, deren Kolben durch einen gemeinschaftlichen Schwengel bewegt werden.

Man hat sich mehrfach bemüht, die Ausguſsröhre der Pumpe mit einem Heber zu verbinden, damit das Wasser nur bis zum Niveau des äuſsern Bassins und nicht bis zur Krone des Fangedammes gehoben zu werden braucht. Bei den gewöhnlichen Saugepumpen ist dieses aber nicht zu erreichen, wenn man nicht etwa das Wasser in besondere Gefäſse pumpen und es aus diesen mit Hebern über den Fangedamm leiten will, dagegen läſst sich die Aufgabe bei Druckpumpen leicht lösen, indem die Ausguſsröhre über den Damm fort, bis unter den Spiegel des äuſsern Wassers herabgeführt wird.

§. 46.
Hydraulischer Mörtel.*)

Hydraulisch nennt man solchen Mörtel, der die Eigenschaft besitzt, unter Wasser zu erhärten. Verschiedene mineralische Stoffe geben bei richtiger Behandlung schon an sich einen Mörtel dieser Art, gewöhnlich stellt man ihn aber durch Vermengung verschiedener Substanzen dar. Das letzte Verfahren ist in neuster Zeit besonders durch sorgfältige chemische Analysen so sehr verbessert und erleichtert worden, daſs man fast überall das zur Bereitung desselben erforderliche Material findet.

Im Allgemeinen hängt die Festigkeit jedes Mörtels zum Theil davon ab, daſs der Kalkbrei in recht vielfache Berührung mit dem zugesetzten Sande kommt. Der reine Kalk bildet, wenn er gebrannt und gelöscht ist, an sich keine feste Masse, denn wie er nach und nach das Wasser an die Luft absetzt, so zerbröckelt er, indem Risse und Spalten sich darin bilden, und die kleinen ausgetrockneten Stückchen, in welche der Kalkbrei endlich zerfällt, sind so weich, daſs sie sich zwischen den Fingern zerreiben lassen. Auf Steinen mit recht glatter Oberfläche haftet der Kalk und der Kalkmörtel nur wenig, deshalb geben polirte Steine und solche, welche einen muscheligen Bruch und eine glänzende Oberfläche zeigen, kein festes Mauerwerk, wohl aber läſst sich ein solches durch rauhe und vorzugsweise durch poröse Steine darstellen, bei denen die Berührungsfläche eine viel gröſsere Ausdehnung gewinnt. So fand Rondelet, daſs derselbe Mörtel mit einer doppelt so groſsen Kraft auf dem porösen Mühlsteine, der an der Marne bricht, haftet, als an glatt geschliffenem Kalkstein.

In derselben Art, wie der Mörtel an den Mauersteinen haftet, so haftet auch wieder in dem Mörtel der Kalk an den einzelnen

*) Bei Umarbeitung dieses und der beiden folgenden Paragraphen bin ich wesentlich unterstützt worden durch meinen Sohn, den Bauinspector Ludwig Hagen, der bei Ausführung des Saar- und des Ihle-Canales sowohl Traſs, wie Cemente vielfach verwendet, auch bedeutende Béton-Fundirungen ausgeführt hat.

Sandkörnchen. Auch hier ist die Verbindung am innigsten, wenn die Kalkmasse möglichst dünne Lagen bildet und die Sandkörnchen recht vielfach berührt. Hierdurch erklärt es sich, daſs der scharfe Sand einen bessern Mörtel giebt, als der matte, bei dem die Ecken abgeschliffen sind, und wenn man den Sand aus einem Material darstellt, das auch bei einer feinen Zertheilung noch die scharfen Kanten und die rauhe Oberfläche behält, so erhärtet der Mörtel um so schneller und bindet um so fester, je weiter die Zerkleinerung getrieben war. Weiche Steine, wie etwa Thonschiefer, geben dagegen, wenn sie zerschlagen werden, keinen scharfen Sand, und sind zur Mörtelbereitung nicht geeignet.

Auf dieser Berührung in möglichst ausgedehnten Oberflächen beruht vorzugsweise die Festigkeit des gewöhnlichen, aus fettem Kalke und reinem Quarzsande bereiteten Mörtels. Der Kalkbrei erhärtet, indem er Kohlensäure aus der Luft anzieht, und sich wieder in kohlensauren Kalk verwandelt, während er fein zertheilt zwischen allen Sandkörnchen eine genau schlieſsende, feste Zwischenlage bildet. Dieser Mörtel verwandelt sich auf diese Art in eine zusammenhängende und feste Masse, ohne daſs eine chemische Verbindung zwischen dem Kalk und dem Sande vorausgesetzt werden darf. Der Zusammenhang zwischen beiden scheint vielmehr nur mechanisch zu sein und allein von der vollständigen Umschlieſsung der Sandkörnchen herzurühren. Die Bildung des kohlensauren Kalkes erfolgt indessen sehr langsam und nur wenn die Luft Zutritt hat. Ein hydraulischer Mörtel, der schnell und selbst unter Wasser erhärtet, kann daher auf diesem Wege nicht dargestellt werden.

Das Erhärten des hydraulischen Mörtels wird dagegen durch eine chemische Verbindung veranlaſst, die selbst unter Wasser zwischen dem im Mörtel befindlichen kaustischen Kalk und der beim Brennen aufgeschlossenen Kieselsäure und Thonerde sich bildet, wodurch die im Wasser unlösliche Verbindung von kieselsaurer Kalkerde und Kalkthonerde entsteht. Ein Ziegel, der mit dünnflüssigem Kalkbrei begossen wird, färbt sich nicht nur weiſs, sondern diese Färbung läſst sich auch durch bloſses Waschen mit Wasser nicht beseitigen. Anders verhält es sich mit andern Bausteinen, z. B. mit einem Stücke Granit, das in gleicher Weise mit Kalk bedeckt, sehr leicht vollständig gereinigt werden kann. Hiermit hängt eine andre Erscheinung zusammen, die wesentlich zur Aufklärung dieser

Verhältnisse beigetragen hat. Wenn man nämlich feinen Thon, der in der Hitze von 300 bis 400 Graden getrocknet war, mit Kalkmilch übergiefst, so zieht derselbe aus der Milch den Kalk so rein aus, dafs die zurückbleibende Flüssigkeit selbst auf geröthetes Lackmus-Papier keine Wirkung äufsert. Hieraus giebt sich augenscheinlich die chemische Verwandschaft des Thones und Kalkes zu erkennen, wie solche zwischen reinem Quarzsande und Kalk nicht besteht. *)

Man findet in der Natur verschiedene Gemenge von kohlensaurem Kalk und Thon, die sehr brauchbare hydraulische Mörtel geben. Schon der gewöhnliche Mergelkalk gehört hierher, doch tritt bei ihm, wenn sein Thongehalt nur 10 bis 12 Procent beträgt, erst nach mehreren Wochen die Erhärtung ein. In den Juraformationen kommen dagegen vielfach Ablagerungen vor, worin der Thongehalt 25 bis 30 Procent beträgt. Diese geben einen sehr brauchbaren Mörtel, der schon in wenig Stunden erhärtet.

Auch der gewöhnliche fette Kalk läfst sich zur Darstellung eines hydraulischen Mörtels benutzen, wenn man ihm künstlich solche Bestandtheile beimengt, mit denen er die erwähnten wasserbeständigen chemischen Verbindungen eingeht. Schon durch den Zusatz von Ziegelmehl nimmt der Mörtel unverkennbar hydraulische Eigenschaften an, wenn dieses Mehl aus hart gebrannten Steinen dargestellt und möglichst fein gemahlen ist. Durch den Zusatz gewisser vulkanischer Producte statt des Ziegelmehls wird der Mörtel aber in viel höherem Grade hydraulisch.

Von den Puzzolanen war diese Eigenschaft schon im Alterthum bekannt. Vitruv sagt **), dafs man zu Wasserbauten einen Mörtel verwenden müsse, der aus einem Theile Kalk und zwei Theilen Puzzolan - Pulver besteht, welches letztere in der Gegend von Cumae bis zum Vorgebirge der Minerva, also am Fufse des Vesuvs längs der Küste des Golfs von Neapel gewonnen wird.

Die Santorin-Erde gehört auch hierher, doch haben die bei uns damit angestellten Versuche nicht günstige Resultate ergeben,

---

*) Sehr eingehend ist dieser Gegenstand behandelt in dem vor Kurzem erschienenen Werke von W. Michaelis, betitelt: die hydraulischen Mörtel, insbesondere der Portland-Cement. Leipzig 1869.

**) *De architectura Liber V. Cap. XII.* — Auch *liber II. Cap. VI.* ist von dem *Pulvis puteolanus* die Rede, das in der Nähe des Vesuvs gefunden wird.

während die in Triest damit ausgeführten Mauern hinreichende Härte annahmen. *) Jedenfalls ist diese Erde sehr unrein, und steht dem im westlichen Deutschland und in den Niederlanden bei Wasserbauten vorzugsweise benutzten Trafs bedeutend nach.

Letzterer wird aus dem Tuffstein dargestellt, der im östlichen Abhange der Eifel vielfach vorkommt. Namentlich gewinnt man ihn seit langer Zeit im Brohl-Thale ohnfern Andernach, auch bei Plaidt wird er gebrochen und in neuerer Zeit werden mächtige Lager desselben bei Winningen ausgebeutet. Unter der Benennung Trafs versteht man das Pulver, in welches durch Mahlen oder Stampfen der Tuff verwandelt ist.

Das Brohl-Thal ist im Thonschiefer eingeschnitten und grofsentheils mit Tuff gefüllt, so dafs derselbe bis unter die Sohle des jetzigen Bachbettes herabreicht. Interessant ist es, dafs man die Ablagerungen vorzugsweise in den zurückspringenden Erweiterungen des Thales, also gerade da antrifft, wo ein starker Strom am meisten zu Versandungen geneigt sein würde. Hiernach ist es nicht unwahrscheinlich, dafs der Trafs durch das Wasser als Schlamm herbeigeführt und abgesetzt wurde, und dafs er demnächst erhärtete. Der Grad seiner Festigkeit und Härte ist sehr verschieden. Die untern Lagen, die man in früherer Zeit häufig als Bausteine verwendete, haben die Härte eines weichen Sandsteines. Sie werden mit Pulver gesprengt, und wenn sie lange der Luft ausgesetzt gewesen sind und die Bergfeuchtigkeit vollständig verloren haben, so lassen sie sich zwar immer noch leicht bearbeiten, zeigen aber schon eine grofse Festigkeit und Tragfähigkeit. Viel weicher sind die obern Lagen, die man auch gegenwärtig noch als Bausteine zum Ausmauern von Fachwänden benutzt. Endlich kommt der Trafs noch in ganz losen Massen in der Form von grobem Sande vor. Zur Darstellung des Mörtels ist der untere feste Stein im Allgemeinen am meisten geeignet, den man daher ächten Trafs nennt. Er wird gegenwärtig nur zur Mörtelbereitung benutzt, denn sein Werth hat sich in der letzten Zeit so hoch gestellt, dafs er als Baustein zu theuer sein würde, es geschieht sogar, dafs man alte Gebäude, die aus Tuff er-

*) Zeitschrift für Bauwesen 1851. S. 293. — Einige Notizen über das Vorkommen der Santorin-Erde sind noch im dritten Theile dieses Werkes §. 61. mitgetheilt.

baut sind, nur in der Absicht abbricht, um die Steine zur Mörtelfabrikation zu benutzen. Die weicheren Sorten und den darauf liegenden Sand nennt man wilden Trafs oder Berg-Trafs. Man benutzt denselben gleichfalls zur Mörtel-Bereitung, doch giebt er einen weniger hydraulischen Mörtel, der nur langsam erhärtet.

Der Trafs enthält viele fremdartige Körper und vorzugsweise findet man Thonschieferstücke und Bimsstein darin eingesprengt, auch vegetabilische Stoffe und namentlich Holzkohlen kommen vielfach in ihm vor. Die Farbe des Trasses variirt vom Grauen ins Braune und geht oft in ein helles Blau über. Letzteres jedoch nur, wenn die Stücke ausgetrocknet sind.

Will man die Güte des Trasses nach seinen äufsern Kennzeichen beurtheilen, so kann dieses mit einiger Sicherheit nur geschehn, wenn er noch nicht pulverisirt ist. Er mufs möglichst fest und hart sein, so dafs die scharfen Ecken sich nicht leicht abbrechen und noch weniger kleine Stücke sich zwischen den Fingern zerreiben lassen. Besonders mufs der Trafs sich scharf anfühlen, und indem die Beimengungen von Thonschiefer und Bimsstein dem Mörtel keine Bindekraft ertheilen, sondern ihn nur verunreinigen, so ist auch derjenige Trafs vorzuziehn, der am reinsten ist. Gewöhnlich schätzt man den grauen Trafs höher als den braunen und giebt dem lichtblauen vor allen den Vorzug, doch ist dieses Kennzeichen allein nicht entscheidend. Wenn der Trafs pulverisirt ist, so pflegt man seine Güte nach dem Niederschlage zu beurtheilen, der sich bildet, sobald man ihn in Wasser geschüttet und dieses umgerührt hat. Am besten ist der Trafs, wenn der Niederschlag bald und zwar vollständig erfolgt, und keine verschiedene Schichten sich darin zu erkennen geben. Die lange anhaltende Trübung des Wassers zeigt gewöhnlich einen starken Thongehalt an, der oft von dem Thonschiefer herrührt. Doch ist diese Probe weniger sicher, indem der wilde Trafs, wenn er sonst rein ist, sich hierdurch von dem ächten kaum unterscheiden läfst.

Die vorstehend erwähnten Kennzeichen sind zum Theil bei dem Winninger Tuffstein nicht entscheidend. Derselbe hat eine braungraue Farbe, ist weniger fest, sogar leicht zerreiblich, auch fehlen ihm die Poren, dagegen hat er ein bedeutend höheres specifisches Gewicht, als der Brohler Stein. Er zieht die Feuchtigkeit aus der

Luft stark an, so daſs er bei feuchter Witterung kaum gemahlen werden kann.

Am sichersten ist es, durch directe Versuche sich von der Bindekraft des Trasses zu überzeugen. In den Niederlanden ist es üblich, aus hart gebrannten Klinkern einen Kasten von 1 Fuſs Weite und Höhe mit dem zu prüfenden Traſsmörtel aufzumauern. Der Boden, wie die Wände dieses Kastens haben nur die Dicke des Steines zur Stärke. Nach 24 Stunden füllt man den Kasten mit Wasser und der Traſs wird nur als gut angesehn, wenn kein Durchsickern bemerbar ist.

Zweckmäſsiger ist das von Vicat angegebene Verfahren, welches auf unsern gröſseren Baustellen auch allgemein üblich ist und verschiedene Trasse oder Cemente in Bezug auf ihre hydraulischen Eigenschaften sehr sicher vergleichen läſst. Man bildet nämlich unter Zufügung der sonstigen Beimengungen einen steifen Mörtel, füllt damit ein gewöhnliches Trinkglas etwa bis zur halben Höhe an, und gieſst sogleich Wasser darüber. An jedes dieser Probegläser wird ein Zettel geklebt, auf den sowohl der Name des Lieferanten, wie auch die sonst nöthige Bezeichnung des Materials und das Mischungs-Verhältniſs aufgeschrieben und Tag und Stunde der Mörtelbereitung hinzugefügt wird. Zur Untersuchung der Härte, die nach verschiedenen Zwischenzeiten jede Probe annimmt, dient ein kleines dreibeiniges Gestell, unter welchem das Glas Platz findet. Dieses Gestell ist im Abstande von etwa 6 Zoll über einander mit zwei durchlochten Blechscheiben versehn, welche einen etwa 1 Linie starken und unten zugeschärften Drathstift führen, so daſs derselbe lothrecht herabsinken kann. An ihm ist ein durchbohrtes Gewicht von 1 Pfund angelöthet. Indem man den Stift sanft auf den Mörtel-Klumpen stellt, beobachtet man, wie schnell und bis zu welcher Tiefe er eindringt. Diese Probe wird bis zur völligen Erhärtung täglich wiederholt, und das jedesmalige Resultat in ein Register eingetragen.

Durch diese Prüfungen gewinnt man nicht nur ein sicheres Urtheil über jede einzelne Lieferung, sondern man kann dadurch auch leicht das passendste Mischungs-Verhältniſs zum Kalke, den man benutzen will, oder zu den andern beizumengenden Materialien ermitteln.

Der feste Tuffstein wird in gröſseren Stücken von etwa ein Viertel Cubikfuſs Inhalt gebrochen, und nachdem er etwas getrocknet

ist, pulverisirt. Zu diesem Zwecke zerschlägt man ihn zunächst in kleinere Stücke von 2 bis 3 Zoll Durchmesser, und beseitigt die gröfseren Thonschieferstücke, die sich ziemlich leicht trennen lassen. Zum Pulverisiren dienen im Brohl-Thale am häufigsten Stampfwerke. Die Stampfen sind etwa 2 Centner schwer und mit gufseisernen Schuhen versehn, welche die Gestalt einer Halbkugel haben, sie werden durch Daumen gehoben und ihre Hubhöhe beträgt etwa 18 Zoll. Unter ihnen befinden sich gufseiserne Tröge, die in starke Balken eingelassen, und an der vordern Seite, einige Zolle über dem Boden mit einer schmalen Oeffnung versehn sind. Durch diese Oeffnungen treten während der Bewegung der Stampfen kleine Trafsstücke und feiner Trafs heraus und Beides fällt auf geneigte Drathsiebe, die durch das Mühlwerk geschwungen werden. Der feine Trafs fällt durch die Siebe in die darunter gestellten Kasten, während die gröberen Körner und gröfsern Stücke in einem andern Kasten vor dem Siebe sich ansammeln, und von hier in die Tröge zurückgeworfen werden, wobei man jedoch die gröbern Thonschieferstücke wieder beseitigt.

Vielfach erfolgt das Pulverisiren des Tuffsteines auch durch Mahlen und zwar entweder in Mühlen, die wie gewöhnliche Mahl-Mühlen mit Läufern und Bodensteinen versehn sind, oder in sogenannten Kuller-Gängen. Im ersten Falle müssen die Mühlsteine aber besonders hart sein, weil sie sonst von dem scharfen Trafs in kurzer Zeit abgenutzt werden. Man wendet allein die Mühlsteine von Niedermendig zu diesem Zwecke an, und es ist nöthig, selbst unter diesen die härtesten auszusuchen. Der Läufer wird in seiner untern Fläche concav bearbeitet, so dafs er in der Nähe des Auges etwa 2 Zoll vom Bodensteine absteht. Diese Anordnung ist nothwendig, weil sonst die Trafsstücke nicht zwischen die Steine treten können. Auf die Form der Hauschläge scheint es wenig anzukommen, dagegen darf kein festes Gestein von einiger Gröfse mit hereingeführt werden, denn sobald dieses sich von dem Auge entfernt und dem Rande der Mühlsteine sich nähert, woselbst diese sich berühren, so drängt es sie mit Heftigkeit auseinander und wirft sogar zuweilen den Läufer herab. Es ist daher bei diesem Verfahren besonders nöthig, den Trafs, während man ihn in kleinere Stücke von höchstens 2 Zoll Durchmesser zerschlägt, zugleich von allen fremden Geschieben, die darin eingesprengt sind, sorgfältig zu reinigen.

Der Kullergang besteht aus einem horizontalen Flur von etwa 6 Fufs Durchmesser, auf dem zwei verticale Steine von 4 Fufs Durchmesser umlaufen. Bei der einfachsten Einrichtung ist der Flur aus harten Werksteinen gemauert, und in seiner Mitte befindet sich die Spurpfanne einer stehenden Welle. Letztere wird gewöhnlich mittelst conischer Räder durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt, und an ihr befindet sich ein hölzernes Geschlinge, von welchem an jeder Seite zwei Arme bis unter die Achsen der Kullersteine herabreichen. In diesen befinden sich die Führungs-Schlitze von 2½ Zoll Weite, worin die 2 Zoll starken eisernen Achsen liegen. Bei solcher Befestigungs-Art können die Kullersteine, sobald sie auf grofse und harte Stücke treffen, die sie nicht sogleich zerdrücken, sich heben und darüber fortgehn.

An das Geschlinge sind aufserdem mittelst Ketten zwei horizontale Rechen gehängt, die unten gekrümmte Messer tragen, welche über den Boden gleiten. Unter dem einen sind die Messer so gestellt, dafs sie die frisch aufgegebenen Tuffsteine von beiden Seiten unter die Kullersteine schieben, unter dem andern greifen sie dagegen tiefer herab und schieben alles Material von der Achse unter die Steine und nach dem Rande des Flurs.

Die Tuffsteine werden, nachdem sie in kleine Stücke zerschlagen sind, hinter den zuletzt erwähnten Rechen aufgeworfen. Der nächste Kullerstein trifft sie schon zum Theil, dem zweiten werden sie aber durch den folgenden Rechen noch vollständiger zugeführt. Der Flur ist mit einem 6 bis 8 Zoll hohen Rande von starkem Eisenblech umgeben, und in diesem befindet sich eine Oeffnung durch welche das dagegen gestrichene Material herausfällt. Ein Arbeiter wirft dieses gegen schräge gestellte Siebe, und schaufelt das gröbere Material, welches sich davor anhäuft, wieder unter die Steine zurück. Die Achse macht in der Minute 10 bis 15 Umdrehungen.

Eine Maschine dieser Art läfst sich ohne grofse Kosten einrichten und eignet sich daher vorzugsweise für Baustellen, auf denen nur eine beschränkte Quantität Tuffsteine verbraucht und gemahlen werden soll. Bei andauerndem und starkem Betriebe wendet man zum Zerkleinen des Tuffsteins zunächst eine Quetschmaschine an. Dieselbe besteht in einem 2½ bis 3 Fufs langen gufseisernen Quetschkasten, der etwa 18 Zoll hoch, oben 16 Zoll und unten 9 Zoll im Lichten weit ist. In demselben liegt die gufseiserne Walze von 8 Zoll

Durchmesser, die mit gekreuzten Reifelungen von etwa 2 Zoll Höhe versehn ist. Dieselbe macht in der Minute 35 Umdrehungen.

Die hierin gebrochenen Tuff-Stücke werden nach der Mühle gefördert, diese unterscheidet sich aber bei ausgedehntem Betriebe von der so eben beschriebenen dadurch, dafs nicht das Geschlinge mit den Kullersteinen, sondern der 2 Zoll starke gufseiserne Teller, der den Flur oder Boden bildet, durch die Maschine gedreht wird. Die Lager für die Achsen der Kullersteine befinden sich alsdann an horizontalen eisernen Armen, welche auswärts durch Charniere befestigt sind, so dafs die Kullersteine sich einige Zolle hoch heben und senken können. Statt der letzteren benutzt man dabei auch häufig 14 bis 16 Zoll breite gufseiserne Räder, deren innerer Raum zur Vergröfserung des Gewichtes mit Ziegelsteinen in Cement-Mörtel ausgemauert ist.

Der gemahlne Trafs wird bei ausgedehntem Betriebe, wie in Amerikanischen Mahlmühlen das Mehl, in prismatische Siebe geführt. Dieselben sind 6 Fufs lang, halten etwa 4 Fufs im Durchmesser, doch pflegt ihr Querschnitt nicht einen Kreis, sondern ein regelmässiges Sechseck zu bilden. Sie machen in der Minute etwa 30 Umgänge, und die Drathgewebe, mit denen sie überspannt sind, haben auf die Länge eines Zolles 20 bis 25 Maschen.

Man rechnet auf eine Quetschmaschine vier Kullergänge und zwei cylindrische Siebe. Eine Dampfmaschine von 18 Pferdekräften genügt, um diese sieben Maschinen in dauerndem Betriebe zu erhalten.

Obwohl in gehörig eingerichteten Fabriken die Kosten für das Mahlen den Preis gegen den rohen Tuffstein nur unbedeutend erhöhen, so pflegt man doch bei gröfserem Bedarf den Stein in Stücken anzukaufen und das Mahlen auf der Baustelle selbst zu besorgen, weil man alsdann die Güte des Materials besser beurtheilen, und vor Fälschung durch schlechte Steine und durch wilden Trafs sich mehr sichern kann.

Zum reinen Trafsmörtel, der keinen Zusatz an Sand erhält, nimmt man auf 1 Cubikfufs Kalkbrei ungefähr 2 Cubikfufs pulverisirten Trafs, doch darf dieses Verhältnifs nicht als allgemein gültig angesehn werden, da der Kalk keineswegs immer von derselben Beschaffenheit ist. Man mufs daher durch die oben beschriebene Probe das passendste Mischungs-Verhältnifs jedesmal feststellen.

Wenn ein sehr schnelles Erhärten des Mörtels unter Wasser nicht nothwendig ist, so setzt man dem Mörtel auch Sand zu. Bei Mauerwerk, das nicht immer von Wasser bedeckt bleibt, ist ein solcher Zusatz sogar nothwendig, weil hierdurch die hygroskopischen Eigenschaften gemäfsigt werden, und der nachtheiligen Einwirkung des Frostes auf den Mörtel vorgebeugt wird. Zu derartigem Mauerwerk verwendet man in der Rheinprovinz gewöhnlich ein Gemenge von gleichen Raumtheilen Kalkbrei, Trafs und Sand, und man nennt dasselbe verlängerten Trafsmörtel. Es sind jedoch, jenachdem ein schnelleres oder langsameres Erhärten gefordert wird, auch andere Mischungs-Verhältnisse üblich, und diese werden wieder durch jene Proben ermittelt.

Bei dieser Gelegenheit mufs noch auf eine auffallende Eigenschaft des reinen, wie auch des nur wenig verlängerten Trafsmörtels aufmerksam gemacht werden, die man bei Cementmörteln nicht bemerkt. Derselbe erhärtet nämlich nicht, wenn die Temperatur des umgebenden Wassers nur um wenige Grade den Gefrierpunkt übersteigt. Man hat dieses vielfach bemerkt und man darf sonach keine Béton-Bettung aus Trafs unmittelbar vor dem Eintritt des Winters ausführen.

Die Zubereitung des Trafsmörtels geschieht gewöhnlich in der Art, dafs man den Kalk und Trafs abmifst, alsdann auf einem dichten Dielenboden den Kalkbrei ausbreitet und unter fortwährendem Durcharbeiten mit der Kalkhacke den Trafs nach und nach zusetzt. Der Mörtel wird aber um so besser, je weniger Wasser er enthält. Vortheilhaft ist es auch, den nothwendigen Zusatz an Wasser gleich Anfangs mit dem Kalk zu vermengen, weil alsdann der Trafs sich leichter darin gleichmäfsig einbringen läfst. Der Zusatz an Wasser mufs aber immer auf das kleinste zulässige Maafs beschränkt werden, weil sonst die Erhärtung später eintritt, auch ein merkliches Schwinden dabei erfolgt. Die Darstellung des Mörtels wird aber um so schwieriger, je steifer derselbe ist. Mit Hacken und Kräcken läfst er sich oft nicht mehr bearbeiten, man mufs vielmehr Stampfen und Schlägel benutzen, wodurch er bei gleichem Wassergehalt nicht nur ein gleichmäfsigeres Gemenge darstellt, sondern auch weicher und schmiegsamer wird. Früher suchte man denselben Zweck dadurch zu erreichen, dafs die Arbeiter den Mörtel mit Holzschuhen treten mufsten. Dabei liefs sich indessen das Ein-

dringen des Mörtels in die Schuhe nicht verhindern, und alsdann wurde die Haut der Füße so angegriffen, daß wenigstens heftige Schmerzen die Folge waren. Diese Methode ist daher keineswegs zu empfehlen.

Wenn größere Quantitäten Mörtel dargestellt werden sollen, wie namentlich behufs Béton-Fundirungen, so wendet man Mörtel-Maschinen an. Dieselben sind sehr verschieden eingerichtet, im Allgemeinen wird aber durch sie nicht nur die Fabrikation beschleunigt, sondern das Fabrikat pflegt auch gleichmäßiger und sonach besser auszufallen, als durch Handarbeit.

Beim Bau der Ruhr-Schleusen benutzte man Maschinen, in welchen der Mörtel in hohlen Cylindern aus Eisenblech gemengt wurde, die horizontal lagen und oben offen waren. An der hindurchgehenden eisernen Achse, die gewöhnlich durch eine Dampfmaschine gedreht wurde, befanden sich Messer, welche theils normal gegen die Achse und theils parallel zur cylindrischen Wand gerichtet waren. Außerdem waren noch besondere Blätter an andern Armen befestigt, welche den Mörtel von der Wand des Cylinders abstrichen. Die Cylinder hatten die Länge von 5 bis 6 Fuß, und hielten 2½ Fuß im Durchmesser. Die Messer welche den Mörtel in einer oder der andern Richtung durchschnitten, waren etwa 3 Zoll von einander entfernt.

Die Maschine wurde in der Art benutzt, daß man zunächst 3 Cubikfuß Kalkbrei einschüttete, die 6 Cubikfuß Traß aber nur in kleinen Quantitäten nach und nach zusetzte, während die Achse mit den Messern schon in voller Bewegung war. Dieses Verfahren begründete sich in sofern, als beim Hinzukommen einer größeren Masse Traß der Mörtel so steif wurde, daß die Messer ihn nicht mehr durchdringen konnten. Die Achse machte durchschnittlich 50 Umdrehungen in der Minute, und in 9 Minuten war der Mörtel hinreichend durchgearbeitet. Alsdann öffnete man die Boden-Klappe, worauf der Mörtel aus dem Cylinder herabfiel. Derselbe maaß wieder nur 6 Cubikfuß, woraus sich ergiebt, daß der Kalkbrei nur so eben die Zwischenräume zwischen den Traßkörnchen ausfüllte.

Eine andere Art von Mörtel-Maschinen, die besonders in Frankreich üblich ist, besteht in einem gemauerten oder eisernen kreisförmigen Boden, in dessen Mitte eine Achse steht, an welcher vier eiserne Arme befestigt sind. An dreien derselben befinden sich ver-

tikale Räder, die auf dem Boden umlaufen und die hier eingeschütteten Materialien vermengen, der vierte Arm bildet aber den Göpelbaum, woran ein Pferd gespannt ist. *) Endlich werden auch Kaller-Gänge, bei denen sich der Boden dreht, zur Darstellung des Mörtels benutzt, bei den sämmtlichen vorstehend erwähnten Maschinen findet indessen kein continuirlicher Betrieb statt. Dieser Uebelstand wird vermieden, wenn man die Mörtel-Maschine nach Art der bekannten Thonschneide-Maschinen einrichtet.

Dieselbe besteht aus einem senkrecht stehenden hölzernen oder eisernen Cylinder von 4 bis 5 Fuſs Höhe und 3 bis 4 Fuſs Weite. Hölzerne Cylinder pflegt man nach oben etwas zu verjüngen, um die eisernen Bänder beim Eintrocknen der Stäbe nachtreiben zu können. In der Achse befindet sich eine eiserne Spindel von quadratischem Querschnitt, die unten in einer Spurpfanne steht, und oben durch einen eisernen Bügel gehalten wird. An den darüber vortretenden Kopf ist ein Göpelbaum angeschroben, bei Anwendung der Dampfkraft ist dagegen ein conisches Rad aufgesteckt, in welches das von der Maschine bewegte conische Getriebe eingreift.

Die erwähnte Spindel ist mit vier oder fünf horizontalen eisernen Armen verbunden, die bis nahe an die innere Wand des Cylinders reichen, und oben wie unten in Abständen von 3 bis 4 Zoll mit mehreren, etwa 4 Zoll langen, und lothrecht gerichteten eisernen Dornen versehn sind. Aus der Cylinder-Fläche treten ähnliche Arme radial bis gegen die Achse vor, die eben solche Dorne tragen. Diese Arme, so wie die Dorne sind aber so gestellt, daſs jene an die Achse befestigten bei der Drehung der letzteren durch sie frei hindurchgehn.

Einige Zolle über dem Boden sind an die Spindel zwei schräge gerichtete Messer angeschroben, durch welche die Masse nach einer Oeffnung geschoben wird, die sich unmittelbar über dem Boden in dem Cylinder-Mantel befindet, und die durch einen Schieber geschlossen werden kann.

Der Cylinder wird zunächst etwa bis zur Hälfte lagenweise und in dem richtigen Verhältniſs mit den Materialien gefüllt, woraus der Mörtel bereitet werden soll. Nachdem der Schieber geöffnet ist, wird die Spindel in Bewegung gesetzt, und nunmehr der Cylinder

---

*) Eine ähnliche Maschine ist im dritten Theile dieses Werkes §. 68. beschrieben und durch Zeichnung erläutert.

in gleicher Weise vollständig gefüllt. Der erste Mörtel ist noch nicht gehörig durchgearbeitet, und mufs daher aufs Neue in den Cylinder geworfen werden, nach kurzer Zeit ist dagegen die Vermengung vollständig erfolgt und der alsdann austretende Mörtel ist zur Benutzung geeignet. Man mufs darauf achten, dafs der Cylinder stets gefüllt bleibt, weil die verschiedenen Bestandtheile um so inniger mit einander in Berührung treten, je häufiger jene Arme und Dorne die Masse durchschnitten haben. Bei jedesmaliger längern Unterbrechung der Arbeit, wobei der im Cylinder befindliche Mörtel erhärten könnte, mufs die Maschine vollständig entleert und gereinigt werden, weil der an den Wänden und Armen haftende Mörtel den spätern Betrieb erschweren, auch das Fabrikat verschlechtern würde.

Wenn die Lage des Bauplatzes es irgend zuläfst, so empfiehlt es sich, diese Maschine in solcher Höhe aufzustellen, dafs der austretende Mörtel durch eine schräge Rinne von selbst in die darunter geschobenen Handkarren fällt. Bei dem Betriebe durch Pferde mufs die Göpelbahn in der Höhe der Maschine liegen, und über jene Rinne auf einer Brücke übergeführt werden.

Eine der beschriebenen ähnliche Maschine, die bei Lorient aufgestellt war, und von vier Pferden getrieben wurde, lieferte in der Stunde nahe 100 Cubikfufs Mörtel.

Da der Trafsmörtel schon in wenigen Stunden zu erhärten anfängt, so darf man ihn nur unmittelbar vor der Verwendung zubereiten. In den Niederlanden wird freilich hiervon zuweilen in so fern abgewichen, als man auch den Trafsmörtel, eben so wie andere Mörtel, die besonders bindend sein sollen, mehrere Tage nach einander umarbeitet. Man bedient sich hierzu eiserner hochkantiger Schlägel, die in der Art gebogen sind, dafs ihre schmale Fläche auf etwa 1 Fufs Länge den Boden trifft, und man gebraucht sie so, dafs die Schläge unmittelbar neben einander fallen, also die Mörtelmasse in allen Theilen getroffen und in andere Berührung versetzt wird. Bei der spätern Bearbeitung wird dabei kein Wasser zugesetzt. *) In den Entreprise-Bedingungen (Bestek) für den Schleusenbau in Nieuwe-Diep, der 1816 ausgeführt wurde, wird ausdrücklich verlangt, dafs kein Mörtel verwendet werden dürfe, der nicht

*) F. Schulz, Versuch einiger Beiträge zur hydraulischen Architektur. Königsberg 1808. Seite 126.

während 3 bis 4 Tagen täglich einmal mit diesen eisernen Schlägeln umgearbeitet worden, er dürfe jedoch auch nicht länger, als 5 Tage gelegen haben. Dabei wird noch gefordert, das beinahe gar kein Wasser zugesetzt werde. F. Baud *) theilt gleichfalls mit, daſs dieses Verfahren in den Niederlanden allgemein üblich sei, doch fügt er hinzu, daſs einige Ingenieure dasselbe bei Traſs- und Cement-Mörtel nicht billigen.

Indem nun bei den groſsartigen und mit vollster Sachkenntniſs ausgeführten Wasserbauten in den Niederlanden der Traſs vorzugsweise angewendet ist, so muſs man voraussetzen, daſs die mehrmalige Umarbeitung des daraus bereiteten Mörtels, wenn auch gegenwärtig davon vielfach abgegangen wird, doch eine gewisse Begründung hat. Diese liegt, wie es scheint darin, daſs der Kalkbrei sich zunächst nur mit den mehr aufgeschlossenen Bestandtheilen des Trasses verbindet, während seine chemische Verbindung mit den schwerer zugänglichen Theilen erst später erfolgt. Bei der sofortigen Verwendung des Mörtels ist Letzterer noch nicht eingetreten, und eben so wenig die Volum-Veränderung, die sie veranlaſst. Durch diese wird also der Mörtel später gelockert. Wird derselbe dagegen erst gebraucht, nachdem diese Verbindungen vollständig erfolgt sind, so findet keine weitere Volum-Veränderung statt. Es wäre möglich, daſs namentlich der verlängerte Traſs-Mörtel, der weniger schnell bindet, durch dieses wiederholte Umarbeiten an Güte gewinnt, doch fehlen darüber entscheidende Beobachtungen.

Die so wichtigen hydraulischen Eigenschaften können dem Mörtel auch in ganz andrer Weise, als durch den Zusatz von Traſs und ähnlichen Substanzen ertheilt werden. Es ist bereits erwähnt worden, daſs manche Kalke hierzu überhaupt keines Zusatzes bedürfen, vielmehr schon in der Verbindung mit reinem Quarzsande einen hydraulischen Mörtel darstellen. Man nennt solchen Kalk, magern oder hydraulischen Kalk. Er unterscheidet sich von dem gewöhnlichen fetten Kalke dadurch, daſs er beim Einlöschen weniger gedeiht, oder eine geringere Quantität Kalkbrei liefert, auch ist die Farbe wegen der fremden Bestandtheile mehr bräunlich. Wenn man diesen Kalk zu Mörtel bearbeitet, so muſs der Zusatz an Sand ge-

*) *Proeve van eenen Cursus over de Waterbouwkunde. II. Deel.* 1838. *pag.* 149.

ringer sein, als im fetten Kalke. Enthält er nur gegen 10 Procent Thonerde, so giebt er sich schon in geringerem Grade als hydraulischer Kalk zu erkennen, beträgt die Thonerde dagegen 20 bis 25 Procent, so erhärtet der daraus gebildete Mörtel sehr fest unter Wasser, und man pflegt ihn alsdann vorzugsweise hydraulischen Kalk zu nennen. Nach dem Brennen läfst er sich einlöschen, ohne dafs man ihn künstlich zu pulverisiren braucht, doch bedarf er noch eines Zusatzes von Sand, um Mörtel zu bilden. Beide letzerwähnten Eigenschaften verschwinden aber, sobald der Kalkstein etwa 30 Procent Thonerde und Kieselsäure enthält. Man nennt ihn alsdann Cement. Ein solcher zerfällt nach dem Brennen weder an der Luft, noch im Wasser und mufs daher gemahlen werden, dagegen läfst er sich ohne allen Zusatz von Sand in Mörtel verwandeln, der sowohl an der Luft, wie auch unter Wasser erhärtet. Wenn endlieh der Gehalt an kohlensaurem Kalk nur gegen 20 Procent beträgt, so mufs man nicht nur nach dem Brennen die Steine pulverisiren, sondern noch fetten Kalk zusetzen.

Unter den natürlichen Cementen ist vor Allen der Roman-Cement zu nennen. Am Ende des vorigen Jahrhunderts liefs James Parker sich ein Patent auf einen hydraulischen Mörtel geben, den er aus Lesesteinen brannte, welche auf dem Strande bei Dover sich vorfanden. Er nannte denselben Roman-Cement, weil er nach seiner Erhärtung an Festigkeit dem römischen Mauerwerk gleichkam. Bald darauf wurde auch in Frankreich die Entdeckung gemacht, dafs in den Geröllen am Strande bei Boulogne (galets de Boulogne) ebenfalls das Material zu vortrefflichem hydraulischen Mörtel vorhanden sei. Die chemische Analyse ergab, dafs beide Steinarten derselben Formation angehörten, und nach dem Brennen im Allgemeinen folgende Zusammensetzung hatten:

Kalk	55	Procent
Thonerde	7	„
Kieselsäure	23	„
Mangan- und Eisenoxyd	12	„
Kali, Natron etc.	3	„

Die natürlichen hydraulischen Kalke und Cemente sind indessen selten ganz gleichmäfsig, in den verschiedenen Lagen und Bänken pflegen sogar sehr bedeutende Abweichungen in den Verhältnissen der chemischen Bestandtheile sich zu zeigen. Indem überdiefs die

Kalk-Arten, welche an sich hydraulischen Mörtel bilden, nicht so allgemein verbreitet sind, wie die Kalk- und Thon-Arten, welche jene Bestandtheile getrennt enthalten, so lag es nahe, durch Verbindung beider künstliche Cemente von derselben chemischen Zusammensetzung darzustellen, welche jene natürlichen Cemente haben. Die grofsen Verdienste, die Vicat durch unermüdliche Arbeiten in dieser Beziehung sich erwarb,*) sind bekannt, ein künstlicher Cement, der allen Anforderungen entsprach, wurde jedoch zuerst in England dargestellt. Der Erfinder desselben war Joseph Aspdin und er nannte sein Fabrikat Portland-Cement, weil dieses die Härte des Portland-Steines annahm, der zu den geschätztesten Bausteinen Englands gehört, auch ungefähr die Farbe desselben hatte.

In Frankreich und Deutschland sind seitdem zahlreiche Fabriken entstanden, welche Cement liefern, der dem englischen Portland-Cement in keiner Beziehung nachsteht. Diese Benennung ist auch in Deutschland allgemein beibehalten. In England wurde hauptsächlich der Thon, der im Thale des Medway-Flusses gegraben wird, verwendet, dessen Zusammensetzung der Art ist, dafs er in Verbindung mit Kalk vorzüglichen Cement bildet. Der Septarin-Thon**), der im nördlichen Deutschland grofsentheils benutzt wird, hat nahe dieselbe chemische Zusammensetzung wie der Thon des Medway-Thales.

Bei Fabrikation des Portland-Cementes werden die geeigneten Materialien, kohlensaurer Kalk und kieselsaurer Thon, deren chemische Zusammensetzung vorher genau ermittelt ist, um das Mischungs-Verhältnifs richtig zu wählen, nachdem sie pulverisirt sind, unter reichlichem Zusatz von Wasser in grofsen Bottichen mittelst geeigneter Rühr-Apparate auf das innigste vermengt. Die dünnflüssige Lösung leitet man alsdann in grofse Schlamm-Bassins, worin sie so lange steht, bis das überschüssige Wasser theils verdunstet, theils in den Boden eingesogen und die Masse streichrecht

*) Das wichtigste Werk von Vicat, welches bei seinem Erscheinen die allgemeinste Aufmerksamkeit erregte, ist betitelt: *Recherches expérimentales sur les chaux de construction, les bétons et les mortiers ordinaires. Paris.* 1818.

**) Diese Thonknollen sind bei ihrer früheren Erhärtung stark geschwunden, und da zuerst die äufsere Schale fest wurde, so bildeten sich im Innern hohle Räume oder Zellen, woher der Name.

geworden ist, worauf man sie wie Ziegel formt, und diese, nachdem sie an der Luft oder durch künstliche Erwärmung getrocknet sind, in Stücke zerschlägt und bei Coaksfeuerung brennt.

Das Brennen mufs mit möglichster Vorsicht erfolgen. Die Hitze darf sich nicht so steigern, dafs der Kalk schon im Ofen mit der Kieselsäure der Thonerde unlösliche Verbindungen eingeht, die vom Wasser nicht mehr angegriffen werden und deshalb die Molecular-Veränderung, die für das Erhärten des Mörtels nothwendig ist, später nicht mehr eintreten kann. Andrerseits mufs die Hitze aber so grofs sein, dafs die kieselsaure Thonerde, so wie die Eisenverbindungen aufgeschlossen werden und die Kohlensäure aus dem Kalk vollständig entweicht. Soll der Cement besonders schnell binden, so giebt man ihm einen stärkeren Zusatz von Thon, brennt ihn aber minder scharf.

Nachdem der Cement gebrannt ist, wird er gemahlen oder auf andre Art pulverisirt und gesiebt. Eine sehr sorgfältige Verpackung in Tonnen ist nothwendig, um ihn vor Feuchtigkeit zu schützen. Die Tonne pflegt 3¼ Cubikfufs zu halten, da der Cement aber fest eingestampft ist, so giebt sie 4½ bis 5 Cubikfufs loser Schüttung. Das Brutto-Gewicht der Tonne beträgt etwa 400 Pfund, wovon 375 Pfund auf den Cement zu rechnen sind.

Die chemische Zusammensetzung eines guten Portland-Cementes ist durchschnittlich folgende:

Kalk	60	Procent
Magnesia	1	„
Thonerde	8	„
Eisenoxyd	4	„
Kali und Natron	2	„
Gyps	1	„
Kieselsäure	24	„

Der fertige Cement stellt sich, als ein scharfes krystallinisches Pulver dar, seine Farbe spielt aus dem Grauen ins Blaue oder Grüne über. Sein specifisches Gewicht ist 3,1 bis 3,2 und im Allgemeinen ist das gröfsere Gewicht ein Zeichen der bessern Qualität. Die möglichst feine Zertheilung ist dringendes Bedürfnifs, damit das Wasser gleichmäfsig und gleichzeitig auf alle Körnchen einwirken kann. Schüttet man Cement unter starkem Umrühren in ein mit Wasser gefülltes Glas, so mufs er bald und gleichmäfsig

niederschlagen, ohne verschiedene Schichtungen zu bilden, auch darf das Wasser keine starke Trübung behalten.

Wenn nicht gerade ein möglichst schnelles Erhärten des Mörtels nothwendig wird, wie etwa beim Stopfen eines Quells, so ist die Verwendung eines etwas langsamer bindenden Cementes in mehrfacher Beziehung vorzuziehn. Nach vielfachen Erfahrungen kann man dem letzteren ohne merkliche Benachtheiligung mehr Sand zusetzen, außerdem ist die Verarbeitung desselben leichter, was besonders von Wichtigkeit ist, wenn große Quantitäten Mörtel, wie etwa zu Béton-Fundirungen gebraucht werden, und endlich nimmt derselbe schließlich eine bedeutend größere Härte und Festigkeit an, als der schnell bindende Cement. Für gewöhnliche Fälle und namentlich für Béton-Fundirungen genügt es, wenn der reine Cement, welchem dem Gewichte nach im Verhältnisse von 10 zu 3 Theilen Wasser zugesetzt ist, erst nach 25 bis 30 Minuten abbindet.

Bei Abnahme des Cementes ist besonders darauf zu achten, daß er keine Feuchtigkeit angezogen hat, wodurch er schon im Faße theilweise erhärtet. Ein geringes Zusammenbacken der Masse pflegt dagegen ohne Nachtheil zu sein, so lange die Klümpchen sich noch ohne Schwierigkeit zwischen den Fingern zerreiben lassen. Außerdem ist jedenfalls zu prüfen, ob die Tonnen den ausbedungenen Inhalt und das richtige Gewicht haben.

Das sicherste Urtheil über die Güte des Cementes und über den passenden Sand-Zusatz gewinnt man durch directe Versuche. Man formt aus den zu prüfenden Mischungen Kugeln, und legt dieselben, nachdem sie eine gewiße Consistenz gewonnen haben, also etwa nach 30 Minuten in die vorhin erwähnten Probegläser, die man mit Wasser füllt, und prüft alsdann von Zeit zu Zeit die nunmehr eintretende Erhärtung.

In den Fabriken pflegt man den Cement in Bezug auf seine absolute Festigkeit in der Art zu prüfen, daß man aus reinem Cement-Mörtel in metallnen Formen prismatische Stäbe bildet, deren quadratische Querschnitte 1½ bis 2 Zoll in den Seiten messen. An beiden Enden sind diese Stäbe mit Verstärkungen versehn. Nachdem der Mörtel abgebunden hat, entfernt man die Formen und legt die Proben unter Wasser. Nach mehreren Tagen wird die Festigkeit derselben gemessen, indem man die erwähnten Verstärkungen in passende Backenpaare schiebt, von denen das obere fest aufgehängt

ist, während das untere entweder unmittelbar die Gewicht-Schale trägt, oder mittelst eines Hebels nach und nach stärker belastet wird. Nach acht Tagen muſs ein guter Cement 160 bis 180 Pfund auf den Quadratzoll Querschnitt tragen. Seine rückwirkende Festigkeit ist aber viel gröſser und beträgt etwa das Zehnfache der absoluten.

Bei ausgedehnten Bauten werden Versuche dieser Art auch auf den Baustellen ausgeführt, wie z. B. bei dem Bau des südlichen Haupt-Cloaken Canals in London. Daselbst wurde nur solcher Cement als brauchbar und den Lieferungs-Bedingungen entsprechend angenommen, von dem ein Mörtel-Prisma von $1\frac{1}{2}$ Zoll Engl. Seite am siebenten Tage erst bei einer Belastung von 400 Pfund zerriſs, dieses Maaſs wurde aber bald darauf auf 500 Pfund erhöht.*) Auf Rheinländisches Maaſs und auf Zoll-Gewicht reducirt stellt sich die Tragfähigkeit des Prisma's von 1 Quadrat-Zoll Querschnitt beziehungsweise auf 154 und 192 Pfund.

Der aus gutem Portland Cement dargestellte Mörtel ist gleichmäſsig grau-blau gefärbt, zeigen sich darin gelb-braune oder rostfarbige Flecken, so ist dieses ein Zeichen von ungenügender Mischung der Roh-Materialien oder von nicht normaler Zusammensetzung derselben.

Der nicht zu schnell bindende Cement erhöht beim Zuthun des Wassers seine Temperatur nur etwa um 2 Grad, bei seinem Erhärten tritt auch keine merkliche Vergröſserung des Volums ein. Wird demselben Sand zugesetzt, so erfolgt die Erhärtung auffallend langsamer, dieser Umstand pflegt aber in den meisten Fällen nur von untergeordneter Bedeutung zu sein.

Wie viel Sand dem Cement ohne Nachtheil zugesetzt werden kann, muſs man jedesmal durch die oben bezeichneten Proben feststellen. Handelt es sich um die Ausführung eines vollständig wasserdichten Mauerwerks, so darf dem Cement nur so viel Sand zugesetzt werden, daſs die Zwischenrämme in dem letztern sich noch vollständig mit dem erstern füllen. Dieses Maaſs läſst sich durch einen einfachen Versuch annähernd feststellen. Man füllt ein Gefäſs von bekanntem Rauminhalt mit trocknem Sande bis zum Rande an, und gieſst soviel Wasser darüber, bis dasselbe den Rand des

*) Zeitschrift des hannöverschen Architecten- und Ingenieurs-Vereins. 1866. S. 159.

Gefäfses erreicht. Der Rauminhalt des zugegossenen Wassers, verglichen mit dem des Gefäfses stellt das zulässige Verhältnifs des Cementes zum Sande dar, doch thut man wohl, noch etwas mehr Cement zu nehmen. Bei dieser Messung mufs man jedoch auf manche Umstände Rücksicht nehmen, die bereits §. 7, §. 20 und §. 38 berührt sind. Die Schüttung des Sandes mufs möglichst locker sein, weil eine geschlossene Ablagerung der Sandkörnchen in der breiartigen Mörtelmasse nicht erfolgen kann. Giefst man aber Wasser auf, so tritt sogleich eine dichtere Ablagerung ein und die Oberfläche des Sandes sinkt herab. Man mufs daher das Gefäfs vollständig und über den Sand hinaus mit Wasser anfüllen. Bei solchem Zugiefsen kann es leicht geschehn, dafs die obern Schichten in ihrer ganzen Ausdehnung benetzt werden, während in den untern die Zwischenräume noch mit Luft gefüllt sind. Letztere kann alsdann nicht entweichen und verhindert daher den Zutritt des Wassers, so dafs jenes gesuchte Verhältnifs nach dieser Probe sich leicht unrichtig herausstellt. Um dieses zu vermeiden, empfiehlt es sich, das Wasser unmittelbar über dem Boden des Gefäfses in den Sand einzuführen, also schon vor dem Einschütten des letztern einen Trichter, der in eine hinreichend lange, nicht zu weite Röhre ausläuft, in das Gefäfs zu stellen, und durch diese das Wasser eintreten zu lassen. Dafs der cubische Inhalt des eintauchenden Theiles des Trichters von dem des Gefäfses in Abzug gebracht werden, auch bei vollständiger Anfüllung das Wasser im Trichter sich in gleicher Höhe mit dem Rande des Gefäfses befinden mufs, bedarf kaum der Erwähnung. Es mag hinzugefügt werden, dafs drei Raumtheile Sand auf 1 Raumtheil Cement in der Regel noch einen undurchlässigen Mörtel geben. Bei Fundament- und Futter-Mauern, Brückenpfeilern und ähnlichen Ausführungen, wobei es auf Wasserdichtigkeit weniger ankommt, kann man sogar fünf und selbst sechs Theile Sand einem Theile guten Portland-Cementes zusetzen.

Der mit vielem Sande gemengte Cement ist indessen schwer zu bearbeiten, wenn man den Mörtel mit Wasser anmacht. Wählt man statt des letzteren Kalkmilch, so bindet er in sich besser, und läfst sich leichter in einen zusammenhängenden Brei verwandeln. Die Verbindung des Kalkes mit Portland-Cement ist auch in andern Fällen vortheilhaft. Durch einen geringen Zusatz des letztern gewinnt der gewöhnliche fette Kalk entschieden hydraulische

Eigenschaften. Ein Gemenge von 1 Theil Cement, 6 Theilen Sand und 2 bis 3 Theilen fetten Kalk stellt einen Mörtel dar, der sich für Mauerwerk, das vielfach dem Wasser ausgesetzt ist, vortrefflich eignet.

Es ist vortheilhaft, beim Anmachen des Mörtels möglichst wenig Wasser zuzusetzen. Reiner Cement-Mörtel erfordert dem Gewichte nach 30 bis 40 Theile Wasser auf 100 Theile Cement. Nach der Erhärtung sind hiervon 14 bis 16 Theile chemisch gebunden, woher 16 bis 24 Theile ausgestofsen werden. Letztere dringen aber nicht in reinem Zustande heraus, sondern enthalten zugleich Alkalien, die sich aus dem Mörtel in ihnen auflösten. Bei Mauern, die im Trocknen ausgeführt sind, schlagen sich diese beim Verdunsten des Wassers auf den freien Oberflächen nieder. Dieses sind die Efflorescenzen die man bei Mauern, welche mit hydraulischem Mörtel ausgeführt sind, gewöhnlich bemerkt. Je mehr überschüssiges Wasser in den Mörtel eingeführt wurde, um so stärker wird dieser ausgelaugt, und das richtige Verhältnifs der Bestandtheile geändert. Mauerwerk, welches bei Regenwetter ausgeführt ist, pflegt demnach stärkere crystallinische Efflorescenzen zu zeigen, als solches das bei trockner Witterung dargestellt wurde, obgleich dem Mörtel in beiden Fällen in demselben Verhältnifs Wasser zugesetzt war.

Bei Zubereitung des Cement-Mörtels wird der Cement mit dem Sande zunächst trocken gemischt, und alsdann erst das erforderliche Wasser zugesetzt, worauf die Durcharbeitung erfolgt. Dieses darf jedoch nur nach Maafsgabe des Verbrauches geschehn, und dieser mufs statt finden, bevor ein Abbinden bemerklich wird. Hat man statt des Wassers Kalkmilch angewendet, so ist eine etwas längere Zwischenzeit zulässig, die auf eine volle Stunde und selbst wenig darüber sich ausdehnen darf.

Auf gröfseren Baustellen werden zur Bereitung des Cement-Mörtels auch Maschinen benutzt, wenn diese aber nach Art jener für den Trafsmörtel eingerichtet sind, so können sie nur das trockne Material mit dem zugesetzten Wasser in innige Verbindung bringen, die Vermengung des Cementes mit dem Sande mufs daher schon früher durch Handarbeit erfolgt sein. Bei Gelegenheit der Béton-Bereitung wird eine Maschine beschrieben werden, welche Beides ausführt.

§. 47.
Béton.

Unter Béton versteht man ein Gemenge von kleinen Steinen und hydraulischem Mörtel. Die Steine müssen solche Gröfse und Form haben, dafs sie bei jeder zufälligen Schüttung sich möglichst geschlossen lagern, auch einiger Verband sich in ihnen bildet, wenn dieser gleich nur sehr unvollkommen ist. Ihre Verbindung erhalten sie durch den beigemengten Mörtel der ihre Fugen füllt, der aber nach dem Erhärten an ihnen sicher haften mufs. Aus diesem Grunde dürfen sie keine glatte Oberfläche haben. Vor ihrem Verbrauche werden sie in Wasser getaucht oder übergossen, weil sie sonst dem Mörtel zu schnell die Feuchtigkeit entziehn und dadurch seine Erhärtung verhindern würden. Ferner darf der gehörige Härtegrad ihnen nicht fehlen. Vielfach stellt man auch die Bedingung, dafs sie recht scharfkantig sein müssen, um einen guten Verband darzustellen, doch werden oft statt der geschlagenen Steinbrocken auch rund geschliffene Kiesel ohne Nachtheil benutzt, was namentlich in England üblich ist. Gewöhnlich giebt man ihnen solche Gröfse, dafs ihr Durchmesser $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll mifst. Den Steinschlägern pflegt man zu diesem Zweck Drahtringe von 2 bis $2\frac{1}{2}$ Zoll Weite als Lehre zu geben mit der Anweisung, dafs die Steine in jeder Richtung hindurchfallen müssen.

Man könnte leicht vermuthen, dafs es vortheilhaft wäre, gröfsere und kleinere Steine zugleich zu verwenden, damit die kleineren die Fugen zwischen den gröfseren füllen, und dadurch der Bedarf an Mörtel, der immer besonders kostbar ist, sich möglichst vermindert. Diese Absicht läfst sich indessen bei der zufälligen Ablagerung, und besonders wegen des beigemengten steifen Mörtels nicht erreichen. Ein Stein berührt den andern nur mit einer Kante oder einer Ecke und findet dadurch schon hinreichende Unterstützung, und oft tritt selbst diese Berührung noch nicht ein. Die kleineren Stücke, die man zusetzen wollte, würden daher leicht die Fugen noch mehr vergröfsern. Aus diesem Grunde läfst man die Steine nicht absichtlich in verschiedener Gröfse schlagen, wiewohl sie immer etwas verschieden ausfallen.

Das Material, woraus die Steinstücken bestehn, ist an sich ziemlich gleichgültig, wenn es nur den obigen Bedingungen entspricht. Vorzüglich eignet sich dazu ein fester Sandstein, doch auch Granit, Grauwacke, fester Kalk und besonders recht hart gebrannte und zerschlagene Ziegel können unbedenklich benutzt werden. Vortheilhaft ist es, wenn die Steine nahezu dasselbe specifische Gewicht haben, wie der Mörtel, weil alsdann die Mischung, besonders in Béton-Maschinen, homogener wird.

Wie bereits erwähnt, werden in England gewöhnlich Flufskiesel zum Béton verwendet, auch in Frankreich und Deutschland geschieht dieses vielfach. Wenn denselben auch die vorspringenden Ecken ganz fehlen, so pflegt der daraus dargestellte Béton, bei Anwendung eines guten Mörtels, doch sehr fest und dicht zu sein, oft übertrifft er sogar denjenigen aus geschlagenen Steinen. Der Grund hiervon dürfte darin zu suchen sein, dafs eben wegen der fehlenden Ecken die Ablagerung der Steine geschlofsner wird, auch ihre abgerundete Form dazu beiträgt, dafs bei der Fabrikation der Béton gleichmäfsiger wird. Dazu kommt noch, dafs diese Kiesel gemeinhin kleiner sind als die geschlagenen Steine, wodurch gleichfalls die Bearbeitung sich erleichtert und der Béton homogener wird. Man könnte freilich auch für die geschlagenen Steine kleinere Dimensionen wählen, dadurch würden aber bei harten Steinen die Kosten erheblicher werden, und bei weichen würde ein grofser Material-Verlust durch das Absplittern eintreten. Wo sich in der Nähe der Baustelle Flufsgerölle von 1 bis 1½ Zoll Durchmesser vorfinden, pflegt deren Verwendung eine sehr erhebliche Ermäfsigung der Kosten herbeizuführen, da mindestens der Lohn für das Schlagen erspart wird.

Um das Mischungs-Verhältnifs zwischen den Steinen und dem Mörtel zu bestimmen, mifst man zuweilen die Zwischenräume zwischen den ersteren. Man füllt zu diesem Zweck einen grofsen wasserdichten Kasten, dessen cubischen Inhalt man kennt, mit den gehörig benetzten Steinstücken, und beobachtet, wie viel Wasser man hinzugiefsen kann, bis dasselbe den Rand des Gefäfses erreicht. Das Volum dieses Wassers ist alsdann dem Gesammtinhalte der Zwischenräume gleich und bei dieser Art der Ablagerung würde eine gleiche Quantität Mörtel zur Füllung der Zwischenräume genügen. Man darf dabei aber nicht vergessen, dafs in dem fertigen

Béton die Steine durch den Mörtel verhindert werden, eine eben so dichte Lage anzunehmen wie früher, und sonach sind die Zwischenräume wirklich gröfser oder die Mörtelmasse mufs bedeutender sein. Die Mischungsverhältnisse, die man wählt, sind nicht immer dieselben. Bei der ersten Béton-Fundirung einer Ruhrschleuse vor 35 Jahren nahm man auf 12 Cubikfufs zerschlagene Steine 6 Cubikfufs fertigen Mörtel und erhielt daraus 13 Cubikfufs Béton. Hiernach gehören zu 100 Cubikfufs Béton 92 Cubikfufs Steine und 46 Cubikfufs Mörtel. Aehnlich ist das Verhältnifs, welches man beim Schleusenbau zu Saint-Valery an der Somme wählte. Man nahm daselbst nämlich zum Cubikmeter Béton 0,87 Cubikmeter Steine und 0,45 Cubikmeter Mörtel. Bei den Schleusen am Rhein-Rhone-Canal rechnete man dagegen auf den Cubikmeter Béton nur 0,69 Steinbrocken und die zugehörige Quantität Mörtel war aus 0,22 gelöschtem Kalk und 0,40 Sand zusammengesetzt. Bei den Bauten in London hat man die Gewohnheit, die Steine und den Sand nicht zu trennen, sondern beide wie sie als Ballast aus der Themse gebaggert werden, dem Kalk zuzusetzen, und es ist auffallend, dafs durch die Beimischung des Kalkteiges das Volum des Ballastes vermindert wird. Dieses erklärt sich dadurch, dafs der Sand hierbei in eine mehr geschlossene Lage versetzt wird. 27 Cubikfufs Ballast, die mit 3 Cubikfufs gelöschtem Kalk und 4 Cubikfufs Wasser verbunden werden, geben nur 24 Cubikfufs Béton, die 27 Cubikfufs Ballast bestehn aber aus 23 Cubikfufs Geschiebe und 11¼ Cubikfufs Sand *). Zu 100 Cubikfufs Béton sind hiernach erforderlich 96 Cubikfufs Geschiebe, 48 Cubikfufs Sand, oder zusammen 112 Cubikfufs Ballast, ferner 12½ Cubikfufs Kalk und 16 Cubikfufs Wasser. Bei Verwendung geschlagener Steine braucht man zu einer Schachtruthe fertigen Béton 120 bis 130 Cubikfufs Steine und etwa 60 Cubikfufs Mörtel.

Die gehörige Vermengung des Mörtels mit den Steinstücken wird dadurch mühsam, dafs der Mörtel recht steif sein mufs, wenn er schnell erhärten und den hinreichenden Grad von Festigkeit annehmen soll. Aus diesem Grunde ist ein kräftiges und anhaltendes Durcharbeiten der Masse erforderlich, und dieses mufs so lange fortgesetzt werden, bis alle Oberflächen der Steine mit ei-

---

*) *Nature and properties of concrete by G. Godwin*, in den *Transactions of the Institute of British Architects. Vol. I Part. I.* London 1836.

ner Mörtelschicht bedeckt sind. Kleinere Bétonmassen pflegt man durch Handarbeit zu bilden, wobei man sich schmaler Rechen bedient, die drei oder vier 6 Zoll lange Zinken haben. Dasselbe Verfahren wird zuweilen auch noch zur Mischung gröfserer Massen Béton benutzt, und zwar geschieht dies folgendermaafsen. Nachdem die Steine stark benetzt worden, breitet man 6 bis 12 Cubikfufs derselben auf einem Dielenboden regelmäfsig aus, so dafs sie eine 6 Zoll hohe Schicht bilden. Nunmehr setzt man den Mörtel in kleinen Quantitäten hinzu und wirft ihn jedesmal so hoch, dafs er wenigstens 3 Fufs herabfällt, um sogleich in die Zwischenräume zwischen den Steinen einzudringen und an einem grofsen Theile ihrer Oberfläche zu haften. Um die Berührung zu vervollständigen, bearbeitet man hierauf noch die Masse mit den erwähnten Rechen so lange, bis man sicher ist, dafs alle Oberflächen mit Mörtel bedeckt sind. Oft breitet man dagegen den Mörtel über den Dielenboden aus, und wirft das erforderliche Quantum Steine heftig darauf, so dafs der Mörtel zum Theil schon die Steine überzieht. Darauf wird aber die Masse mit Spaten umgearbeitet, bis die vorstehend erwähnte Bedingung erfüllt ist.

Bei gröfseren Ausführungen pflegt man sich besonderer Béton-Maschinen zu bedienen, die in verschiedenster Weise construirt sind. Die Maschine, welche bei den Schleusenbauten an der Ruhr angewandt wurde, bestand aus einer geschlossenen achtseitigen prismatischen Trommel aus Holz, welche durch die hindurchgehende eiserne Achse von einer Dampfmaschine gedreht wurde. Bei der Bewegung stieg der Béton zugleich mit der Wandung immer an, und stürzte alsdann in derselben Art herab, als wenn man ihn mit dem Spaten aufgeworfen hätte. Die Trommel war 6 Fufs lang, 3 Fufs weit und machte in der Minute etwa 9 Umdrehungen. Die eine der langen Seiten liefs sich als Klappe zurückschlagen. Wenn dieselbe nach oben gekehrt und die Oeffnung frei war, warf man die 12 Cubikfufs Steine und den Mörtel hinein, schlofs die Klappe und setzte die Trommel während 18 Minuten in Bewegung. Alsdann war die Durcharbeitung vollständig erfolgt, und wenn die Klappe sich unten befand, öffnete man sie, worauf der Béton herausfiel. Diese häufig eintretende Unterbrechung ist sehr zeitraubend. Die Besorgnifs, dafs die scharfen Ecken der Steinstücke abgestofsen werden möchten, bestätigte sich dabei aber nicht, indem die Fallhöhen nicht hoch waren,

auch der Mörtel den Stofs mäfsigte, was sich schon aus dem dumpfen Ton während des Ganges der Maschine, und noch sicherer aus der spätern Untersuchung des Bétons ergab. Die Leistung dieser Maschine war wegen der so oft eintretenden und langen Pausen nicht bedeutend, woher solche Einrichtungen vorzuziehn sind, wobei ein ununterbrochener Betrieb möglich ist.

Dieses geschieht, indem die Trommel schräge gestellt wird, und an beiden Enden offen ist. Durch das obere führt man das Material ein, und aus dem untern tritt der fertige Béton aus. Jene Seitenklappe fällt dabei fort, man pflegt auch wohl das achtseitige Prisma in einen Cylinder zu verwandeln. Die Länge desselben mifst 12 bis 14 Fufs und sein innerer Durchmesser 3 bis 4 Fufs.

Eine andere Vorrichtung zur Béton-Bereitung, die man nicht mehr eine eigentliche Maschine nennen kann, bietet Gelegenheit die betreffenden Materialien zusammen von einer bedeutenden Höhe herabfallen zu lassen, jedoch so, dafs sie während des Falles vielfachen Hindernissen begegnen, wodurch sie zurückgehalten werden und in verschiedenartige Berührung mit einander kommen, so dafs sie sich innig vermengen.

Ein solches Fallwerk bestand bei den Hafenbauten im Havre in einer senkrecht aufgestellten, 15 Fufs hohen und etwa 20 Zoll weiten cylindrischen Röhre, durch welche in Abständen von etwa 3 Zoll diametrale Sprossen aus Rundeisen von 9 Linien Stärke hindurchgezogen waren. Diese Sprossen lagen aber nicht parallel unter einander, vielmehr war jede gegen die vorhergehende um 45 Grade versetzt. Es wurden jedesmal gleichzeitig solche Massen eingeworfen, dafs der untergeschobene Wagen die volle Ladung Béton erhielt.

Ein anderes ähnliches Fallwerk, welches man im nördlichen Deutschland vielfach benutzt, ist Fig. 264 auf Taf. XXI im Durchschnitt dargestellt. Eine 25 bis 30 Fufs hohe und 6 bis 8 Fufs breite Rüstung wird durch Zwischenwände in Abtheilungen von 6 bis 8 Fufs Länge getheilt. Jede derselben wird abwechselnd benutzt, so dafs bedeutende Quantitäten Béton gefertigt werden können. An den gegenüberstehenden Seiten jeder Abtheilung sind schiefe Ebenen angebracht, von denen die oberste durch eine Klappe geschlossen werden kann, so dafs sich hier ein Behälter bildet, in welchen die Materialien zu einer halben Schachtruthe Béton schichtenweise in dem beabsichtigten Verhältnisse eingeschüttet werden. Befindet sich

dieses Quantum darin, so löst man die Leine, durch welche die Klappe zurückgehalten wurde, und sogleich stürzt die Masse von einer geneigten Ebene auf die andre, von wo sie aber immer sogleich wieder herabgleitet, und dadurch so vielfach in ihrer gegenseitigen Berührung sich verändert, daſs in wenigen Secunden der gehörig gemengte Béton auf den unten angebrachten Dielenboden herabfällt. Diese Vorrichtung, so wie auch diejenige, welche im Havre angewendet wurde, erfordern indessen eine tiefe Lage der Baugrube, weil sonst das Heben der Steine und des Mörtels auf die Rüstung unverhältniſsmäſsige Kosten verursachen würde.

Gewöhnlich sind die Maschinen, worin der Mörtel und der Béton bereitet werden, getrennt gehalten, zuweilen hat man sie indessen auch so verbunden, daſs der Mörtel aus der ersten Maschine unmittelbar in die zweite fällt, und hier nur die Steine zugesetzt werden dürfen, um den Béton fertig zu stellen. Eine derartige Anordnung war zur Gewinnung der groſsen Béton-Massen für die Fundirung der Schleusen des Ihle-Canales mit sehr gutem Erfolge getroffen. Fig. 261 auf Taf. XX zeigt in *a* die Seiten-Ansicht, in *b* den Grundriſs und in *c* den Querschnitt des Schuppens mit den darin aufgestellten Apparaten.

Sowol die Mörtel-Maschine wie die Béton-Maschine besteht in einem Cylinder von 12 Fuſs Länge und 3 Fuſs Weite. Beide werden durch eine locomobile Dampfmaschine von 8 Pferdekräften mittelst Treibriemen und gezahnter Räder in Bewegung gesetzt, wie sich aus den Zeichnungen ergiebt. Die Trommeln sind im Verhältniſs 1 zu 12 gegen den Horizont geneigt, so daſs ihr oberes Ende um 1 Fuſs höher liegt, als das untere. Sie haben keine durchgehenden Achsen, woher der innere Raum in ihnen frei bleibt, dagegen laufen sie auf Frictionsrollen und erhalten die drehende Bewegung durch gezahnte Räder, die an ihren obern Enden sie umfassen. Die Peripherie-Geschwindigkeiten beider Trommeln betragen 1 Fuſs in der Secunde, sie machen daher in der Minute etwa sechs Umdrehungen.

Die Stäbe, welche die Trommeln bilden, sind 2 Zoll stark, und zwar bestehn die der obern Trommel aus Kiefern-, die der untern dagegen, die wegen der hinzugekommenen Steine stärkeren Angriffen ausgesetzt sind, aus Eichen-Holz. Auf den innern Flächen beider Trommeln sind aus kurzen Winkeleisen drei Spiralen gebildet (in

Fig. *a* und *c* sichtbar), durch welche die eingeführten Materialien am sanften Herabgleiten verhindert, und so hoch gehoben werden, dafs sie beim Herabstürzen von diesen Schienen eine innige Verbindung eingehn.

In der obern Trommel wurde der Mörtel, in der untern der Béton bereitet. Der Mörtel bestand aus einem Theile künstlichen Portland-Cement und drei Theilen Sand. Zum Abmessen dienten flache Kasten die für den Sand einen halben, und für den Cement ein Sechstel Cubikfufs hielten. Solche wurden gefüllt und abgestrichen auf die Tische *A* und *B* gestellt, und ein dazwischen stehender Arbeiter schüttete abwechselnd den Inhalt eines Sand- und eines Cement-Kastens in die Trommel. Beide Materialien wurden also zunächst trocken gemengt, und nachdem durch Versuche festgestellt war, dafs eine gleichmäfsige Masse sich schon bildete, nachdem dieselbe den dritten Theil der Länge der Trommel durchlaufen hatte, so wurde hier das Wasser zugeleitet. Dieses geschah durch ein Rohr, welches aus dem Bottich *C* gespeist wurde und bei *D* mit einem Hahn versehn war, von hier aber in das untere Ende der Trommel' eintrat, dieselbe der ganzen Länge nach durchlief, und an dem schrägen Trichter, durch welchen man die trocknen Materialien einschüttete, unterstützt wurde. Vier Fufs vom obern Rande der Trommel entfernt war die Ausflufsöffnung des Rohres in der Art eingerichtet, dafs das Wasser nach oben ausspritzte, der Strahl stiefs aber gegen eine 3 Zoll über der Oeffnung angebrachte Blechhaube, wodurch das Wasser in feinen Tropfen auf den hier vorübergehenden Cement und Sand herabfiel. Der Hahn *D* wurde von einem zuverlässigen Arbeiter, der dauernd daneben stand, so gestellt, dafs der aus der Trommel tretende Mörtel die verlangte Consistenz hatte.

Der fertige Mörtel fiel auf die zwischen beiden Trommeln befindliche geneigte Ebene, auf der ihm das nöthige Steinquantum zugesetzt wurde. Die Steine wurden auf Handkarren angefahren, die nachdem sie abgestrichen, genau 2 Cubikfufs hielten, deren Boden aber aus einem engen eisernen Roste bestand. Die gefüllten Karren wurden zunächst unter eine Pumpe geschoben und hier standen sie so lange, bis das Wasser aus ihnen ganz rein abflofs, also der Staub und die Erde, die an den Steinen haftete, abgewaschen war. Alsdann schob man die Karren durch das Eingangsthor *E* an jene ge-

neigte Ebene, und so oft ein Kasten Cement und ein Kasten Sand oben eingeschüttet war, was durch eine Glocke angezeigt wurde, stürzte man den halben Inhalt der Karre auf diese Ebene.

Der Mörtel wie die Steine fielen von der geneigten Ebene in die untere Trommel oder in die Béton-Maschine, und wenn die Steine auch in gröſseren Massen periodisch hinzutreten, während der Mörtel sehr gleichmäſsig hineinfloſs, so vermengten sich Beide beim Durchlaufen der Trommel doch so vollständig, daſs in dem fertigen Béton keine Ungleichmäſsigkeit bemerkt werden konnte. Dieser fiel aus der untern Trommel über eine bewegliche Klappe, unmittelbar in die darunter stehende Handkarre, und sobald letztere gefüllt war, legte man die Klappe um, so daſs sie nunmehr den Béton auf der andern Seite ausschüttete, wo man inzwischen eine leere Karre untergestellt hatte. In dieser Weise setzte sich die Mörtel- und Béton-Bereitung ohne Unterbrechung fort, wenn nicht etwa in dem Transport und der unmittelbar darauf statt findenden Versenkung des Bétons eine kurze Stockung eintrat, in welchem Falle die Locomobile angehalten werden muſste. Hiervon abgesehn hängt die Leistungs-Fähigkeit der Maschine davon ab, wie schnell der zwischen den Tischen *A* und *B* stehende Arbeiter die Sand- und Cement-Kasten auszuschütten vermag. Bei regelmäſsigem Gange wurden in der Stunde 2½ Schachtruthen Béton gefertigt.

Wenn der Béton nicht vorschriftsmäſsig durchgearbeitet war, so daſs nicht sämmtliche Steine sich mit Mörtel überzogen hatten, was jedesmal beim Beginn der Arbeit der Fall war, auch sonst gelegentlich vorkam, so wurde die Karre mit dem unfertigen Béton wieder an die geneigte Ebene zwischen beiden Trommeln zurückgeschoben und ihr Inhalt in die Béton-Maschine geworfen, so daſs dieselben Steine nochmals diese durchliefen.

Die untere Trommel, obwohl sie aus eichenen Stäben zusammengesetzt war, nutzte sich so stark ab, daſs sie, nachdem 1400 Schachtruthen Béton hindurchgegangen waren, erneut werden muſste. Bei ausgedehntem Gebrauche dürfte es sich daher empfehlen, sie im Innern mit Blech zu verkleiden.

Es verdient erwähnt zu werden, daſs diese Maschinen bei ihrer ersten Anwendung während eines recht starken Frostes in Betrieb erhalten werden muſsten. Die Béton-Fundirung der Bergzower Schleuse im Ihle-Canale sollte vor dem Winter von

1866 auf 1867 fertig sein, damit die Uebermaurung im nächsten Sommer erfolgen konnte, äufsere Umstände hatten indessen den Anfang der Arbeit früher unmöglich gemacht, und bei der milden Witterung entschlofs man sich die Bétonirung am 27. December zu beginnen. Unglücklicher Weise trat indessen bald ein starker Frost ein, der sich mehrere Tage hindurch bis auf — 10 Grad R. steigerte. Der Schuppen, dessen Thüren freilich immer geöffnet bleiben mufsten, wurde durch mehrere eiserne Oefen geheizt, auch war dafür gesorgt, dafs wenigstens Sand und Cement lange Zeit im Schuppen lagerten, also eine mäfsige Temperatur annahmen, dasselbe geschah mit dem Wasser im Reservoir. Die Steine, zu deren Ablagerung kein Raum vorhanden war, mufsten freilich stets von aufsen beigefahren werden. Die Mörtel- und Béton- Bereitung erfolgte jedoch ohne Störung, und damit der fertige Béton nicht etwa während des Abfahrens gefrieren möchte, wurde an den kältesten Tagen jede Karre mit erwärmten Säcken überdeckt. Am 17. Januar war die Béton-Versenkung beendigt, und als man bei Beginn des folgenden Sommers die Baugrube auspumpte, zeigte sich das Bétonbette vollständig wasserdicht und erhärtet.

§. 48.
Béton-Fundirung.

In vielen Fällen ist der Zudrang des Wassers zur Baugrube so stark, dafs man dieselbe nicht trocken legen kann, und sonach die Fundirung nach den gewöhnlichen Methoden nicht ausführbar ist, zuweilen darf man aber, wenn die Beseitigung des Wassers auch möglich wäre, doch nicht die Schöpfmaschinen mit voller Kraft wirken lassen, weil die starken Quellen leicht die natürliche Festigkeit und Tragfähigkeit des Bodens beeinträchtigen. Wenn dieses zu besorgen, mufs man eine Fundirungs-Art wählen, wobei das Wasserschöpfen entbehrlich wird. Einige hierher gehörige Methoden, die jedoch nur selten Anwendung gefunden haben, auch in ihren Erfolgen nicht ganz sicher sind, sind bereits erwähnt, von andern wird später die Rede sein, vorzugsweise gehört aber hierher die Fundirung in Béton.

Aus den vorstehenden Mittheilungen ergiebt sich schon, dafs der Béton unter Wasser erhärtet und sogar ein sehr festes Mauerwerk darstellt, obwohl ihm der künstliche Verband der Steine ganz fehlt, auch die Fugen, wie sie sich zufällig gebildet und mit Mörtel gefüllt haben, verhältnifsmäfsig sehr grofs sind. Wenn dieses Mauerwerk sich daher auch theurer und wegen des fehlenden Verbandes sogar weniger fest, als gewöhnliches herausstellt, so hat es doch den grofsen Vorzug, dafs es unter Wasser ausführbar ist, also die Wasserwältigung wenigstens so lange entbehrlich macht, bis die Sohle der Baugrube überdeckt und die hier befindlichen Quellen gestopft sind. Diese Methode ist indessen keineswegs neu, da nach Bélidor *) schon im Jahre 1748 ein Hafendamm bei Toulon auf Béton fundirt wurde.

Das Verfahren ist dabei im Allgemeinen dieses. Die nöthige Vertiefung der Baugrube wird nicht sowol durch Graben, als durch Baggern bewirkt, wobei das Wasserschöpfen entbehrlich ist, oder doch nur in geringem Maafse einzutreten braucht. Alsdann erfolgt die Umschliefsung durch eine Spundwand oder in andrer Weise, und hierauf die Versenkung des Béton-Bettes in angemessener Stärke. Hauptbedingung ist, dafs während dieser Versenkung und bis zur vollständigen Erhärtung des Bétons, also während mehrerer Monate, die Schöpfmaschinen aufser Thätigkeit bleiben, denn wenn während dieser Zeit der Wasserstand in der Baugrube erheblich gesenkt, und dadurch die Quellen in Thätigkeit versetzt werden, so durchdringen sie auch den noch weichen Mörtel im Béton und spülen denselben aus, wodurch sie freien Zutritt zur Baugrube sich eröffnen und der Zweck der Bétonbettung verfehlt wird.

So lange der Béton noch weich ist, mufs man jede Strömung von ihm entfernt halten, weil dadurch der Mörtel nicht nur aufgelöst, sondern selbst fortgespült würde. Dieselbe Wirkung könnte auch schon eintreten, wenn man den Béton durch das Wasser frei hindurchfallen lassen wollte, wobei sogar nicht nur der Mörtel ausgespült, sondern wegen der Verschiedenheit der specifischen Gewichte, welche gewöhnlich zwischen dem Mörtel und den Steinen besteht, würden beide sogar in der nachtheiligsten Weise sich trennen. Beim Versenken mufs daher der Béton in geschlossener Masse auf die

*) *Architecture hydraulique. Tome IV. p.* 187.

Sohle der Baugrube so versenkt werden, dafs er mit dem darüber stehenden Wasser möglichst wenig in Berührung kommt.

Die Versenkung geschieht hiernach entweder in Trichtern oder in Kasten. Die Trichter bestehn gewöhnlich in hölzernen prismatischen Röhren von quadratischem Querschnitt, in welche man den Béton einschüttet. Sie werden auf bewegliche Gerüste in der Art gestellt, dafs ihr Fufs oder ihr unterer Rand die Oberfläche der zu schüttenden Bétonlage nahe erreicht. Der unten austretende Béton wird in gleicher Art, wie eine Sandschüttung, keineswegs sich seitwärts über die ganze Baugrube verbreiten, sondern vielmehr nur unter dem Trichter eine abgestutzte Pyramide bilden, deren obere Grundfläche mit der untern Oeffnung des Trichters übereinstimmt und deren Seitenflächen der Böschung entsprechen, welche der Béton unter Wasser annimmt. Hat ein solcher Körper sich gebildet, so hört das weitere Ausfliefsen des Bétons aus dem Trichter auf, und nur wenn letzterer verschoben wird, stellt sich aufs Neue eine Anschüttung dar und dehnt den pyramidalen Körper in derjenigen Richtung weiter aus, wohin der Trichter verschoben wurde. Auf solche Art läfst sich durch das Fortrücken des Trichters ein Streifen Béton quer über die Baugrube darstellen, und wenn man hierauf wieder die ganze Bahn, welche den Trichter trägt, so weit verschiebt, dafs die untere Mündung des Trichters vor die Oberkante des bereits dargestellten Streifen vortritt, und läfst wieder den Trichter langsam sich über die Bahn bewegen, so legt sich ein zweiter Streifen neben den ersten. Auf diese Art kann man die ganze Sohle der Baugrube nach und nach bedecken oder die beabsichtigte Schicht regelmäfsig darstellen. Man giebt indessen einer solchen gewöhnlich nicht die volle Stärke, welche das ganze Bétonbette haben soll, sondern nur etwa die Hälfte oder den dritten Theil derselben, und sonach müssen noch andere Schichten in gleicher Art darüber gelegt werden. Dabei mufs man die obern Streifen so legen, dafs sie die Fugen der untern überdecken, weil die Fugen wegen der längeren Berührung mit dem Wasser weniger sicher geschlossen sind.

Um den Trichter bequem aufstellen und bewegen zu können, legt man gewöhnlich, wie Fig. 265 in *a* und *b* auf Taf. XXI zeigt, auf die Seitenwände der Baugrube drei unter einander verbundene Balken, von denen zwei mit Schienen versehn sind, worauf der kleine Wagen läuft, der den Trichter trägt, und der mittelst der an beiden

Enden der Rüstung aufgestellten Winden hin und hergezogen werden kann. Der dritte Balken bildet in Verbindung mit dem mittleren eine Laufbrücke, von welcher aus der Trichter gefüllt wird. Die kurzen Schwellen, worauf die drei Balken liegen, sind gleichfalls mit Rädern versehn und diese laufen auf Schienen, die auf die Spundwände befestigt sind.

Ist die Baugrube so breit, dafs sie selbst mit armirten Trägern nicht überspannt werden kann, oder fehlt ihr eine hinreichend hohe und feste Seitenwand, so dafs solche Schiebe-Bühne sich nicht aufstellen läfst, so mufs man den Trichter zwischen zwei Fahrzeuge hängen, die in der Baugrube schwimmen. Eine Einrichtung dieser Art war beim Bau der Schleuse St. Valery sur Somme getroffen. *) Hierbei trat aber die Schwierigkeit ein, den Trichter immer in gleicher Höhe zu erhalten, da eines Theils der Wasserstand in der Baugrube nicht constant war, hauptsächlich aber auch die Fahrzeuge bald mehr und bald weniger tief eintauchten, jenachdem sie gerade durch den aufgeschütteten Béton schwerer oder leichter belastet waren. Um diese Abweichungen auszugleichen, brachte man an beiden Seiten zehn grofse Tonnen an, die auf dem Wasser schwammen und die man mittelst langer Winkelhebel herabdrücken konnte. Geschah dieses, so trugen dieselben einen Theil der Belastung und die Fahrzeuge hoben sich. Auf diese Art war es möglich, durch angemessenes Anziehn der Hebelarme die Fahrzeuge mit dem Trichter immer in derselben Höhe zu erhalten. Mittelst dieser Vorrichtung konnte man indessen nicht bis an den Rand der Baugrube gelangen, und um auch hier den Béton zu versenken, legte man die Rüstung, welche den Trichter trug, an einer Seite auf ein Fahrzeug und an der andern auf einen Wagen, der auf einer Bahn am Ufer sich bewegte.

Man giebt den Trichtern, deren Zusammensetzung Fig. 165 in *a* und *b* und besonders in dem horizontalen Durchschnitt *c* mit genügender Deutlichkeit erkennen läfst, einen quadratischen oder rechtwinkligen Querschnitt von 2 bis 4 Fufs Seite, der in der ganzen Höhe sich gleich bleibt, wenn nicht vielleicht oben die Ränder etwas übertreten um das Einschütten zu erleichtern. Die engeren Trichter pflegt man sogar nach unten hin in ihren Seiten um 1 bis 2 Zoll zu erweitern, um zu verhindern, dafs der Béton nicht durch das

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1832. *I.* *p.* 52.

starke Anhaften an den Wänden zurückgehalten wird, sobald der untere Theil des Trichters sich entleert. Die in früherer Zeit versuchte Anordnung, wobei der Trichter sich nach unten verengte, war aus dem angegebenen Grunde nicht passend, und man ist daher gegenwärtig ganz davon zurückgekommen.

Die Trichter müssen immer bis über den Wasserspiegel der Baugrube mit Béton gefüllt bleiben, damit sowol der nöthige Druck auf die austretende Masse ausgeübt, als auch verhindert wird, daſs der Béton beim Durchfallen durch darüber stehendes Wasser nicht leidet. Wird die Arbeit während der Nacht oder aus andern Gründen unterbrochen, so empfiehlt es sich, namentlich wenn man Cement-Mörtel anwendet, den Trichter vollständig zu entleeren. Bei Traſsmörtel ist diese Vorsicht weniger geboten, wenn die Unterbrechung nicht zu lange dauert, da dieser in etwa 10 Stunden noch nicht so stark abbindet, daſs wirkliche Nachtheile besorgt werden könnten. Zweckmäſsig ist es indessen, auch ihn während dieser Zeit nicht ganz ruhig stehn zu lassen, vielmehr den Wächter zu instruiren, daſs er etwa alle 2 Stunden durch mäſsiges Anziehn der betreffenden Winde den Trichter etwas fortrückt.

Beim Anfüllen des leeren Trichters darf man den Béton nicht unmittelbar hineinschütten, weil er beim freien Hindurchfallen durch das Wasser zu sehr ausgewaschen und in seiner Verbindung gelöst werden würde, man muſs ihn vielmehr in Kübeln oder Kasten versenken, wie solche nachstehend beschrieben werden. Diese Art der Füllung ist so lange fortzusetzen, bis das Niveau des Wasserstandes in der Baugrube erreicht ist.

So lange der Béton sich in dem Trichter befindet, ist er der Berührung mit Wasser vollständig entzogen, beim Austreten aus der Mündung schiebt er sich dagegen in dünnen Schichten über die Dossirung der früheren Schüttung fort, und ohne Zweifel ist ein starkes Auswaschen des Mörtels alsdann unvermeidlich. Um dieses zu verhindern, oder wenigstens zu mäſsigen, hat man auf einzelnen Baustellen in Frankreich versucht, durch geneigte Tafeln vor und zur Seite der untern Mündung des Trichters, die Dossirungen zu überdecken. Es ist indessen nicht anzunehmen, daſs dadurch ein merklicher Vortheil erreicht werden kann, da beim Vorrücken des Trichters das Wasser gewiſs mit groſser Heftigkeit in den zunächst noch leeren Raum unter den Tafeln einströmt. Hierzu kommt aber, daſs

man beim jedesmaligen Zurückgehn des Trichters, wenn dabei die Schüttung fortgesetzt werden soll, gezwungen ist, die eine Klappe oder Tafel an die entgegengesetzte Seite zu legen.

Die Figuren zeigen noch neben der untern Mündung des Trichters zwei Walzen, die etwas tiefer als diese herabreichen. Eine geht dem Trichter voran, die andere folgt ihm. Die letztere drückt auf den frisch ausgeflossenen Béton und comprimirt ihn nicht nur, sondern ebnet ihn auch. Beim Zurückgehn thut dieses dagegen die andre Walze, die bei der ersten Bewegung die vordere war. Das auf solche Art überwalzte Bette zeigt eine so ebene Oberfläche, wie sie durch Versenkung des Bétons in Kasten nicht dargestellt werden kann, und hierauf beruht wohl besonders der Vorzug, den man vielfach der Anwendung des Trichters einräumt.

Wesentlich verschieden ist die Versenkung des Bétons, wenn man denselben über Wasser in gewisse Gefäſse schüttet, und diese alsdann auf die Sohle der Baugrube herabläſst und sie hier entleert. Es werden dadurch einzelne Haufen neben einander gebildet, die sich in ihren Dossirungen überdecken, und sonach wieder zusammenhängende Streifen bilden. Die Oberfläche derselben ist aber keineswegs so eben, wie beim Gebrauch des Trichters mit den Walzen. Für die untern Schichten ist diese Unregelmäſsigkeit ohne Nachtheil, weil die darüber versenkten alle Vertiefungen wieder füllen, aber selbst für die obere Schicht ist die vollständige Ausebnung kein dringendes Bedürfniſs, da bei der spätern Uebermaurung solche leicht dargestellt werden kann. Man pflegt indessen auch die obere Schicht unmittelbar nach dem Versenken des Bétons, also während derselbe noch weich ist, mittelst einer schweren eisernen Scheibe an einer hölzernen Stange anzudrücken und ihn hierdurch einigermaaſsen zu ebnen. Man darf diesen Apparat jedoch nicht als Stampfe benutzen, weil alsdann das Wasser in starke Bewegung versetzt und die leicht löslichen Theile des Mörtels ausspülen würde. Jedenfalls muſs man beim Versenken die am untern Ende mit einer kleinen Scheibe versehene Peilstange vielfach gebrauchen, um sich zu überzeugen, daſs die unvermeidlichen Unebenheiten nicht zu bedeutend werden. Entdeckt man irgendwo groſse Vertiefungen, so sind solche noch nachträglich zu füllen.

Die Gefäſse, in welchen man den Béton versenkt, sind sehr verschieden. Zuweilen sind es Eimer, die von den gewöhnlichen

sich nur dadurch unterscheiden, dafs die Bügel nicht an dem obern Rande, sondern tiefer abwärts, nämlich wenig oberhalb des Schwerpunktes des mit Béton gefüllten Eimers befestigt sind. Sie lassen sich alsdann durch Leinen, die an die Böden angesteckt sind, leicht umkehren und entleeren. In ähnlicher Art werden auch prismatische Kasten behandelt, die man vielfach benutzt. Sie hängen mittelst Tauen an zwei Zapfen in den Seitenbrettern, damit sie sich aber beim Anziehn der am Boden befestigten Leine leicht umdrehn, und entleeren, so giebt man ihnen einen trapezförmigen Querschnitt, oder oben eine gröfsere Breite hat, als unten.

Diese Eimer und Kasten sind jedoch, wenn man damit gröfsere Massen Béton versenken will, nicht leicht zu entleeren, aufserdem verändern sie beim Umkippen häufig ihre Lage, so dafs die Haufen sich nicht regelmäfsig neben einander stellen, man wählt daher lieber Kasten die statt der festen Böden mit beweglichen Klappen versehn sind, man öffnet diese, sobald die Kasten bis zur Sohle der Baugrube herabgelassen sind. Es kommt hierbei wieder darauf an, eine vielfache Berührung des Bétons mit dem Wasser zu vermeiden, der Kasten mufs sich daher entleeren, während seine Entfernung vom Boden möglichst geringe ist. Zu diesem Zwecke bringt man oft zwei Klappen an, die geschlossen nicht in eine Ebene fallen, vielmehr unter einem rechten Winkel gegen einander geneigt sind. Fig. 262 *a* und *b* auf Taf. XX ist ein solcher Kasten in zwei Seiten-Ansichten dargestellt. Sobald er bis auf einige Zolle dem Grunde sich genähert hat, so werden die beiden Haken, durch welche die eine Klappe an beiden Enden gehalten wird, mittelst der daran befestigten Leinen gelöst, und dadurch schlagen beide Klappen soweit zurück, wie Fig. 262 *a* in den punktirten Linien zeigt. Ist der leere Kasten demnächst wieder aufgezogen, so werden beide Klappen gehoben, und die Haken eingestellt. Diejenige Klappe, welche von den Haken gehalten wird, greift über die andre über und hält dadurch auch diese in ihrer Lage.

Am zweckmäfsigsten ist unbedingt die anf Fig. 263 dargestellte Anordnung, die gegenwärtig auch ziemlich allgemein gewählt wird. Der Kasten besteht dabei aus zwei Viertel-Cylindern, die in der Achse unter sich verbunden, und an den auswärts vortretenden Enden derselben aufgehängt sind. Aufserdem sind an ihnen noch Ketten befestigt, und indem man diese zusammen anzieht, so öffnet

und entleert sich der Kasten, selbst wenn er schon unmittelbar den Grund berührt, der freie Fall des Bétons durch das Wasser ist also hierbei auf das geringste Maafs zurückgeführt. Dieser Kasten bedarf auch keiner besondern Vorrichtung zum Schliefsen, er schliefst sich vielmehr von selbst, sobald nur jene Doppel-Kette nicht angezogen wird, auch wenn er gefüllt ist, hat er keine Tendenz sich zu öffnen. Er besteht gewöhnlich aus Eisenblech.

Fig. 263 *a* und *b* zeigen noch, in welcher Weise die Füllung, so wie die Senkung und das Heben des Kastens ausgeführt wird. Er hängt an zwei starken Tauen, die über die Welle einer Winde geschlungen sind, und letztere wird durch ein Getriebe mittelst zwei Curbeln bewegt. An der Achse der Winde ist ein Sperr-Rad angebracht, um den Kasten in der passenden Höhe zu halten. Man hebt ihn so hoch, dafs seine Oberkante so eben unter die Verschwellung des Winde-Gerüstes reicht. Die am Cylinder-Mantel des Kastens befestigten Ketten werden zur Seite geschoben, und der Kasten mit Béton gefüllt. Geschieht dieses mittelst gewöhnlicher Handkarren, so werden dieselben so weit an das Winde-Gerüst geschoben, dafs das Rad dagegen stöfst, damit aber bei dem Ausstürzen nach vorn das Rad nicht zurückläuft, so wird hinter dasselbe ein hölzerner Keil, der mit einem Stiel versehn ist, untergeschoben. Bei dem nunmehr erfolgenden Verstürzen wird die Karre so weit umgeschlagen, dafs deren Handhaben sich auf den Riegel legen, der die beiden horizontalen Holme des Winde-Gerüstes mit einander verbindet. Die Karre entleert sich alsdann vollständig über das Kopfbrett, welches das Rad überdeckt, und ihr Inhalt stürzt sicher in den Kasten. Bei der Gröfse des in den Figuren 263 dargestellten Kastens fafst derselbe 12 Cubikfufs, und 5 bis 6 Karren sind erforderlich, um ihn mit geringer Ueberhäufung zu füllen. Hierbei mufs noch mittelst eines Rechens oder einer Hacke der Béton in die Ecken geschoben werden, die sonst leer bleiben würden.

Nunmehr löst man die Sperrhaken und läfst den Kasten langsam herab. Wenn sein oberer Rand das Wasser berührt, und dieses anfängt, die Unebenheiten der Oberfläche des Bétons auszufüllen, so mufs die Senkung möglichst langsam erfolgen, um ein heftiges Einströmen zu verhindern, wobei der Mörtel ausgewaschen werden könnte. Nachdem der Kasten sich auf die Sohle der Baugrube oder auf den bereits früher versenkten Béton aufgestellt hat, so werden

die Curbeln in derselben Richtung noch weiter gedreht, so dafs die Winde noch etwa eine Umdrehung macht. Alsdann zieht der Vorarbeiter, der hinter dem Winde-Gerüst steht, das Mittel-Tau, mit welchem die an den Cylinder-Mantel befestigten Ketten verbunden sind, scharf an, indem er die Windungen desselben auf der Welle nachzieht, und das Ende dieses Taues anholt. Werden nun die Curbeln im entgegengesetzten Sinne gedreht, so dafs der Kasten sich hebt, so hängt dieser zunächst nur an dem Mittel-Tau, indem die beiden Seitentaue, die ihn an der Achse fassen, schlaff sind. Er öffnet sich daher und nimmt die Stellung an, die Fig. 263 *c* zeigt. Die cylindrischen Kasten-Wände werden also unter dem Béton hervorgezogen, so dafs dieser zum Theil nur in der Höhe der Wandstärke durch das Wasser fällt.

Ist der Kasten bis über das Wasser gehoben, so wird das Mittel-Tau nachgelassen, worauf der Kasten sich wieder schliefst. Bevor derselbe aufs Neue gefüllt wird, schiebt man aber das Windegerüst, welches zu diesem Zweck auf Rädern steht, die auf Schienen laufen, um die Länge des Kastens vor, und damit hierbei keine Irrung eintritt, so sind auf der Brücke die betreffenden Marken schon vorher kenntlich bezeichnet. In dieser Weise bildet sich ein ziemlich gleichmäfsiger Béton-Streifen über die ganze Breite der Baugrube, und damit sich an dieser der nächste genau anschliefst, so wird nunmehr die ganze Brücke, welche mit der oben (bei Gelegenheit der Versenkung durch Trichter) beschriebenen genau übereinstimmt, um die Breite eines Streifen vorgeschoben. Auch diese Entfernungen sind an den Bahnen, worauf die Räder der Brücke laufen, vorher deutlich und scharf markirt. Bei Ausführung der Béton-Bettungen für die drei Schleusen am Ihle-Canale geschah die Versenkung des Bétons in der bezeichneten Weise.

Zuweilen hat man diese halbcylindrischen Kasten auch aus Holz dargestellt, dabei pflegt aber der Uebelstand einzutreten, dafs sie von selbst aufschwimmen, nachdem sie sich entleert haben, wobei die Taue leicht in Unordnung kommen. Um das Herablassen zu erleichtern hat man auch Bremsvorrichtungen an den Winden angebracht, was bei grofsen Kasten gewifs vortheilhaft ist. Je gröfser dieselben sind, um so weniger tritt der Béton mit dem Wasser in Berührung, da die Oberfläche nicht dem cubischen Inhalte proportional ist. Man benutzt daher zuweilen Kasten, die 24 bis 30 Cu-

bikfufs fassen. Es läfst sich indessen dabei doch immer eine vielfache Berührung mit dem Wasser nicht vermeiden, welche eintritt, wenn der ausfliefsende Béton die zu seiner Unterstützung nöthigen Dossirungen annimmt. Die Frage, ob die Versenkung durch Trichter oder durch Kasten vorzuziehn sei, ist zur Zeit noch nicht entschieden, jedenfalls ist es aber zweckmäfsig letztere zu wählen, wenn die Versenkung von Fahrzeugen aus erfolgt, weil diese bei der periodisch wechselnden Belastung mit Béton in verschiedene Tiefe eintauchen.

Die aus dem Mörtel ausgewaschenen Theile sind so fein, dafs sie einige Zeit hindurch im Wasser schweben, doch schlagen sie bald als eine schlammige Masse nieder. Vermöge ihres geringeren specifischen Gewichtes schiebt der frisch eingeschüttete Béton dieselbe vor sich her, so lange sie nur eine dünne Schicht bildet und noch weich und flüssig ist. Mit der Zeit nimmt sie aber eine gröfsere Consistenz an, alsdann weicht sie nicht mehr aus, und da sie nicht wie der Mörtel erhärtet, so unterbricht sie den wasserdichten Zusammenhang der nach einander versenkten Béton-Massen, und giebt Veranlassung zu starken Quellungen, sobald man später die Baugrube trocken legt. Um dieses zu verhindern empfiehlt es sich, das Schütten der einzelnen Lagen möglichst schnell auf einander folgen zu lassen, damit der Schlamm, der sich auf die untere Schicht absetzt, noch dünnflüssig ist, also ausweichen kann, sobald die Ueberdeckung durch die nächste Schicht erfolgt. Es ist daher passend eben so viele Versenkungs-Vorrichtungen anzuwenden, als man Schichten über einander legen will, und dieselben in möglichst geringen Abständen gleichzeitig im Betriebe zu erhalten. Dabei ist es freilich nothwendig, die Béton-Fabrikation in entsprechender Weise auszudehnen, damit es nicht am nöthigen Material zur Versenkung fehlt.

Mehrfach hat man versucht diesen Schlamm in andrer Weise zu entfernen. Beim Abkehren durch Drahtbesen wird er indessen nur im Wasser vertheilt, zweckmäfsiger ist es ihn mittelst Sackbaggern zu heben, und am vortheilhaftesten dürfte es sein, ihn abzupumpen.

Es mag noch erwähnt werden, dafs aus dem Béton sich auch Gase zu entwickeln pflegen, die, indem sie durch den weichen Schlamm dringen, bisweilen röhrenförmige Niederschläge des letz-

daher einen einzigen Kasten aus Eisenblech, der 47 Fufs lang, 17 Fufs breit und 9 Fufs hoch war. Die Blechstärke maafs 4½ Linien. Die Decke wurde in Abständen von 3½ Fufs durch Querträger von 2 Fufs Höhe unterstützt, und diese waren in gleichen Entfernungen durch Längsträger mit einander verbunden, deren Höhe, soweit nicht eine besondere Verstärkung nöthig war, nur 10 Zoll betrug. Die Seitenwände schlossen sich an Consolen an, die am Fufse der Wände scharf ausliefen, oben aber 3¼ Fufs breit, und aufserdem nicht nur an den aufgehenden Rändern, sondern auch an jeder Seitenfläche mit je drei horizontalen Eckeisen versehn waren. Sogleich nach der Zusammenfügung des Kastens wurden zwischen je zwei Consolen passende Stücke Eichenholz auf die untern Eckeisen gelegt und darüber eine Maurung ausgeführt, deren Schichten aus der horizontalen Richtung bald in eine schwache Wölbung übergingen, damit die oberen Eckeisen gleichfalls zum Tragen kämen. In dieser Art wurden die Nischen zwischen den Consolen vollständig gefüllt. Aufserdem überspannte man die quadratischen Felder zwischen den Trägern der Decke mit flachen Kappen. Dieses Mauerwerk, welches den innern Raum nicht beengte, liefs sich im leeren und feststehenden Kasten unbedingt besser ausführen, als nach dem vollständigen Versenken, aufserdem aber trug es auch zur Vermehrung der Luftdichtigkeit des Kastens bei.

Die auf eingerammten Pfählen ruhende Rüstung stellte wieder zwei Etagen dar, von denen die untere, die nur 4 Fufs über Wasser lag, als eigentliche Baurüstung zur Zusammensetzung des Kastens diente, und daher mit einer 50 Fufs langen und 19 Fufs breiten Oeffnung versehn war, während die obere die Schrauben-Vorrichtungen zum Herablassen des Kastens und die Geleise für den Laufkrahn trug. Sie stellte gleichfalls eine ziemlich freie Oeffnung dar, durch welche mittelst des Krahnes die Maurermaterialien, so wie die Luftschleusen u. d. g. in der ganzen Ausdehnung des Pfeilers bequem gehoben und versetzt werden konnten.

Die Vorrichtungen zum Heben und Senken des Kastens, waren genau dieselben wie bei der Kehler Brücke. Die Anzahl der Schrauben oder Hänge-Eisen betrug im Ganzen 32, und auch hier befanden sich immer je zwei nahe neben einander, nur war ihre Benutzung insofern abweichend, als man hier nicht nur die Hälfte derselben gleichzeitig in Wirksamkeit setzte, während die

Um jedoch sicher zu sein, dafs die statthafte Grenze nicht überschritten wird, thut man wohl, an einzelnen Punkten der Baugrube Eisenstangen ohne scharfe Spitzen an unbewegliche Rüstungen in lothrechter Stellung und so zu befestigen, dafs sie frei herabsinken können. Durch feste Marken an den Rüstungen bezeichnet man die Höhen der Köpfe der Stangen, und beobachtet diese während des tiefern Ausgrabens. Sobald einige Auflockerung des Bodens eintritt, sinken die Stangen herab, und alsdann darf das Graben nicht weiter fortgesetzt werden, vielmehr mufs die Vertiefung durch Baggern beginnen.

Die Baugrube mufs in der Sohle diejenige Ausdehnung haben, welche man für die Fundirung bestimmt hat, auch müssen ihre Seiten so dossirt sein, dafs kein Einstürzen der Ufer zu besorgen ist. Erst wenn diese Erdarbeiten ausgeführt sind, geht man zum Einrammen der Spundwände über, die alsdann regelmäfsiger und schliessender sich darstellen lassen, als wenn man sie zuerst ausgeführt, und später die Baugrube ausgebaggert hätte. Den Raum zwischen den Spundwänden und Dossirungen füllt man sogleich mit einer für Fangedämme geeigneten Erde an und stampft dieselbe fest. Dieses Verfahren ist indessen insofern bedenklich, als dabei leicht Erdtheilchen durch die Spundwand dringen, welche als Schlamm niederschlagen, und die zusammenhängende Ablagerung des Bétons verhindern. Sodann mufs man bei dieser Hinterfüllung auch die Spundwand gegen das Ueberweichen sichern, und zwar entweder durch rückwärts angebrachte Erdanker, oder durch gegenseitige Absteifung der gegenüber stehenden Wände. Das Erste pflegt indessen sehr kostbar zu sein, und durch die Absteifungen wird die regelmäfsige und zusammenhängende Béton-Versenkung, wo nicht ganz verhindert, doch sehr erschwert. Im Allgemeinen empfiehlt es sich daher, die Spundwände nicht früher zu hinterfüllen, als bis die Béton-Bettung ausgeführt ist. Die zum Anfahren des Bétons erforderlichen Laufbrücken legt man entweder auf Querhölzer, die an einer Seite auf der Spundwand, an der andern aber auf einem Banket der Erdböschung ruhen, oder auf eine leichte Rüstung, deren Pfähle nur mit der Handramme eingetrieben sind.

Es ist schon früher (§. 42) davon die Rede gewesen, dafs man bei beschränkten Bauplätzen die Grube zuweilen nicht in der ganzen Ausdehnung, also mit Einschlufs des Raumes über den Erd-

dossirungen ausheben kann. Alsdann ist man gezwungen, mit dem Einrammen der Spundwände den Anfang zu machen und zwischen denselben die Vertiefung durch Graben oder Baggern herzustellen. Die Erdarbeiten erhalten dabei freilich nur eine geringere Ausdehnung, aber die Rammarbeit wird dagegen erschwert, auch lassen sich die gegenseitigen Absteifungen in diesem Falle nicht umgehn, sobald man die Baugrube vertieft.

Es mufs noch erwähnt werden, dafs die mehrfach berührte Forderung, den Béton nur in stehendes Wasser zu versenken, zuweilen sich nicht in aller Strenge erfüllen läfst, namentlich bei Wehr- und Schleusen-Bauten, wenn eine starke Niveau-Differenz auch während der Bauzeit nicht zu beseitigen ist, wobei also die Baugrube durch unterirdische Adern theils mit dem Oberwasser und theils mit dem Unterwasser des Flusses in Verbindung steht und sonach fortwährend das Wasser von der einen Seite in sie hinein- und von der andern herausfliefst. Wenn dieses geschieht und man die Bewegung nicht hindern kann, so sind die niederwärts gerichteten Strömungen weniger nachtheilig, als die aufsteigenden, denn die ersten können den Mörtel nicht fortführen, während die letzten dieses thun, und dadurch Canäle im Béton bilden. Aus diesem Grunde ist es in solchem Falle am passendsten, die Baugrube in offene Verbindung mit dem Oberwasser zu setzen und den Wasserstand in ihr möglichst hoch zu halten.

Die Stärke, die man dem Bétonbette giebt, richtet sich nicht sowohl nach dem Gewichte des fertigen Baues, der darauf gestellt werden soll, als vielmehr nach dem Druck der von unten dagegen tretenden Quellen. Der Béton ist gewöhnlich kostbarer als andres Mauerwerk, man wird ihm daher keine überflüssige Stärke geben, und diese vielmehr nur nach jenem Druck bestimmen. Man pflegt bei allen Schleusenbauten, wenn deren Breite auch nur einige 20 Fufs beträgt, dem Bétonbette mindestens die Stärke von 3 Fufs zu geben, bei einer gröfseren Breite genügt dieses aber nicht mehr. Bei der Eingangs-Schleuse zum St. Katharine's Dock, dessen Breite im Fundamente 68 Fufs maafs, hatte das Bétonbette die Stärke von 7 Fufs.

Häufig geschieht es, dafs man auf das Bétonbette selbst Fangedämme stellt, deren Anordnung und Construction im Folgenden beschrieben werden soll. Diese tragen zur Vermehrung des Gewichtes wesentlich bei, aber wenn sie auch ein Aufheben der ganzen Fun-

dirung verhindern, so können sie doch durch die ungleichmäfsige Belastung Veranlassung geben, dafs das Bétonbette in der Mitte durchbricht, wie mehrmals vorgekommen ist. Man mufs daher der Fundirung eine solche Stärke geben, dafs sie vermöge ihrer relativen Festigkeit diesem Bruche mit Sicherheit widersteht, und zwar in jedem einzelnen Querschnitt. Um hiernach die erforderliche Stärke des Bétonbettes zu bestimmen, ist es nöthig, das specifische Gewicht und die Festigkeit des Bétons zu kennen. Das erste hängt von dem dazu verwendeten Material ab, und ein Mittelwerth dafür dürfte sich, wenn man zerschlagene Ziegelsteine anwendet, auf 1,5 und bei Bruchsteinen und Flufsgeschieben auf 2 bis 2,5 stellen.

Die relative Festigkeit läfst sich mit hinreichender Genauigkeit aus der absoluten herleiten. Letztere steigert sich zwar nach einzelnen Versuchen sogar bis auf 400 Pfund und darüber auf den Quadratzoll, im Allgemeinen wird dieses Maafs aber nicht erreicht. Michaelis theilt mit, dafs die auf Veranlassung des Ober-Bergamtes in Bonn mit reinem Trafsmörtel (1 Theil Kalk und 2 Theile Trafs) angestellten Versuche nach 18 Wochen die Tragfähigkeit desselben gleich 114 Pfund auf den Quadratzoll Querschnitt ergaben, wogegen Cement-Mörtel aus 1 Theil Portland-Cement und 3 Theilen Sand bestehend nach andern sorgfältigen Versuchen schon nach drei Wochen die absolute Festigkeit von 100 Pfund auf den Quadratzoll zeigte. Für die grofsen Mörtelmassen, die bei Bétonfundirungen versenkt werden, darf man wegen der verschiedenen Zufälligkeiten das Maafs der Festigkeit im Allgemeinen nicht zu grofs annehmen, wenn man aber, um ganz sicher zu sein, dieses so geringe setzen wollte, wie einzelne Versuche es ergeben, so würde daraus die Nothwendigkeit einer ungewöhnlichen Mächtigkeit des Bétonbettes folgen, die aus der Erfahrung sich nicht ergiebt. Hierbei kommt auch noch der Umstand in Betracht, dafs die umgebende Erde und diejenigen Theile des Fangedammes, welche an beiden schmalen Seiten die Baugrube einschliefsen, wesentlich zur Verhinderung eines Bruches beitragen, während in der nachstehend angegebenen Berechnung die Bedingung für das Gleichgewicht in jedem einzelnen Querschnitt ohne Rücksicht hierauf hergeleitet ist. Man darf deshalb wohl die Festigkeit des Bétons, wenn er mit der nöthigen Sorgfalt bereitet und versenkt ist, zu 100 Pfund auf den Quadratzoll Querschnitt annehmen.

Ich setze voraus, daſs an beiden langen Seiten der Baugrube auf dem Bétonbette Fangedämme aus Béton aufgeführt sind, welche das Aufschwimmen des ganzen Bettes durch ihr Gewicht verhindern, daſs sie aber einem Bruche in der Mitte des Bettes nicht entgegenwirken, sondern in diesem Falle eine drehende Bewegung annehmen können, ohne die Höhenlage ihres Schwerpunktes zu verändern. Hiernach bestimmt sich die Kraft, welche auf den Bruch hinwirkt durch den Druck des Wassers gegen denjenigen Theil des Bétonbettes, welcher zwischen den Fangedämmen liegt, und diesem Drucke wirkt sowohl das Gewicht von eben diesem Theile des Bétonbettes, als dessen Festigkeit entgegen. Bezeichnet man mit

b die Breite des Bétonbettes zwischen den Fangedämmen,
e die Dicke desselben,
h die Höhe des äuſsern Wasserstandes über dem Bétonbette,
m die absolute Festigkeit des Bétons in Pfunden, und zwar für die angenommene Maaſseinheit, nämlich den Quadratfuſs,
γ das Gewicht eines Cubikfuſses Wasser und mit
$p\gamma$ das Gewicht eines Cubikfuſses Béton;

so ist für den am meisten zu besorgenden Bruch, nämlich in der Mittellinie der Fundirung, das Moment des Wasserdruckes gegen den halben Boden des Bétonbettes und zwar für einen Abschnitt desselben von 1 Fuſs Breite

$$\tfrac{1}{2}\, b\,(h+e)\,\gamma \,.\, \tfrac{1}{4}\, b$$

und das Moment vom Gewichte des Bétonbettes

$$\tfrac{1}{2}\, b\, e\, p\, \gamma \,.\, \tfrac{1}{4}\, b$$

Bei Bestimmung des Momentes der relativen Festigkeit ist darauf Rücksicht zu nehmen, daſs die rückwirkende Festigkeit des Bétons ohne Vergleich viel gröſser als die absolute ist, und daher die neutrale Achse nahezu in der Oberfläche des Béton-Bettes liegt. Jenes Moment ist also

$$e\, m \,.\, \tfrac{1}{3}\, e$$

und die Bedingung des Gleichgewichtes

$$\tfrac{1}{8}\, b^2\, \gamma\,(h+e) = \tfrac{1}{8}\, b^2\, e\, p\, \gamma + \tfrac{1}{3}\, e^2\, m$$

Durch Auflösung dieser Gleichung läſst sich der Werth von e bestimmen.

Bei der Schleuse in Ruhrort war

$b = 29$ Fuſs
$e = 3{,}5$ Fuſs.

Setzt man für diesen Fall

$p = 1,5$

$m = 14400$ Pfund und

$\gamma = 62$ Pfund,

so folgt

$h = 10,8$ Fufs

oder das Bétonbette von dieser Breite und Stärke konnte noch dem Drucke widerstehn, wenn der äufsere Wasserstand sich gegen 11 Fufs über die Oberfläche des Bétons erhob. Dieses war in der That auch der Fall gewesen, als aber beim Anschwellen die Ruhr einige Fufs höher stieg und man die Baugrube noch immer trocken erhalten wollte, so brach die Bettung, die schon manche undichte Stellen zeigte, der Länge nach auf. Um dem Drucke eines Wasserstandes von 14 Fufs über der Oberfläche widerstehn zu können, hätte das Bétonbette nach der vorstehenden Formel die Stärke von etwas über 4 Fufs haben müssen.

Bei sehr grofser Breite der Baugrube, also wenn das Bétonbette auch sehr stark werden müfste, pflegt man zur Ermäfsigung der Kosten eine etwas geringere Dicke zu wählen, als nach der vorstehenden Rechnung erforderlich wäre, man mufs aber alsdann das Bette anderweitig belasten, um das Heben und Brechen desselben zu verhindern. Zu diesem Zwecke versenkt man vor dem Auspumpen eine grofse Quantität Steine, die man später vermauert, auf den Boden, oder stellt unter die Verstrebungen, durch welche die Spundwände gegen einander abgesteift sind, hölzerne Stempel, die zur Vertheilung des Druckes auf Unterlagen über dem Boden stehn. In diesem Falle müssen aber die Verstrebungen, nachdem sie mit Brettern überdeckt sind, noch durch hinreichend grofse Steinmassen belastet werden. Die Fälle, dafs Bétonbetten wegen ungenügender Stärke oder weil sie noch nicht vollständig erhärtet waren, gebrochen sind, haben sich so oft wiederholt, dafs in dieser Beziehung die gröfste Vorsicht sich gewifs rechtfertigt. Man thut auch wohl, dabei auf einen etwas höhern Wasserstand Rücksicht zu nehmen, als nach der Jahreszeit erwartet werden darf. Sollte indessen ein ungewöhnlich hoher Wasserstand eintreten, wobei der Druck gegen das Bétonbette gefährlich wird, so bleibt nur übrig, den Bau zu unterbrechen und die Baugrube voll Wasser laufen zu lassen.

Um über das Erhärten der Schüttung ein sicheres Urtheil zu

gewinnen, füllt man während der Bétonirung und besonders gegen das Ende derselben, Kasten oder Fässer mit Béton an, und versenkt dieselben in Wasser. Indem man sie von Zeit zu Zeit aushebt und untersucht, kann man sich leicht von der Erhärtung überzeugen, die der Béton angenommen hat, doch muſs man schlieſslich die Klumpen zerschlagen, um sicher zu sein, daſs der Mörtel im Innern gleichfalls vollständig fest ist.

Ist das Bétonbette von einer dicht schlieſsenden Spundwand umgeben, und diese sorgfältig mit guter Erde hinterfüllt, so pflegt die Trockenlegung der Baugrube keine Schwierigkeit zu machen. Der Wasserzudrang durch die Fugen zwischen den Spundbohlen läſst sich auch dadurch ermäſsigen, daſs man, sobald ein solcher über Wasser sich zeigt, durch eingetriebenes Werg die Fuge stopft. War dagegen der Boden sehr unrein, so daſs die Spundwand sich nicht regelmäſsig ausführen lieſs, oder hatte man die Baugrube nur durch Stülpwände oder Brett-Tafeln umschlossen, die gegen einzelne Pfähle gelehnt waren, so ist der Wasserzudrang viel bedeutender. Es kann alsdann sogar geschehn, daſs die unter dem Bétonbette austretenden Quellen dieses umgehn und durch die umschlieſsende Wand zur Baugrube gelangen. Führen dieselben reines Wasser, so sind sie nur insofern nachtheilig, als die Wasserwältigung schwieriger wird, wenn aber mit ihnen gröſsere Sandmassen herauskommen, die sich neben dem Ausflusse in die Baugrube ablagern, so ist dieses ein sicheres Kennzeichen, daſs irgend wo Höhlungen sich bilden, die möglicher Weise unter dem Bétonbette sich befinden und die sichere Unterstützung desselben gefährden.

Häufig giebt man dem Bétonbette eine gröſsere Ausdehnung, so daſs man die umschlieſsenden Fangedämme noch auf dasselbe stellen kann. Diese Fangedämme werden gleichfalls aus Béton gebildet, und ihre äuſsern Wände, wogegen sie geschüttet werden, sind die Spund- oder sonstigen hölzernen Wände, die das Bette umgeben, die innern Wände müssen aber besonders zu diesem Zwecke hergestellt werden. Da ein ganz dichter Schluſs in ihnen nicht nothwendig ist, so pflegt man sie nur leicht aus Brettern zu construiren, die gegen Pfosten gelehnt sind. Nicht selten versieht man diese Pfosten mit stumpfen Spitzen und treibt sie soweit in die obere, noch nicht erhärtete Bétonlage ein, daſs sie gegen das Verschieben gesichert sind. Ein solches Verfahren ist aber nicht zu billigen, weil

dadurch das Bétonbette leicht beschädigt werden kann und jedenfalls dasselbe an diesen Stellen nicht mehr die volle Stärke behält.

Passender ist es, nachdem das Bétonbette vollständig angeschüttet und einigermaafsen erhärtet ist, auf dasselbe in der Richtung der einzustellenden Wand noch einen schmalen und etwa 1 Fufs hohen Rücken Béton zu legen, und hierin sogleich die Pfosten einzustellen. Fig. 266 auf Taf. XXI zeigt diese Anordnung. Man lehnt gegen diese Pfosten in Abständen von 4 bis 5 Fufs horizontale Bohlen, die unter sich durch Leisten verbunden sind, und stöfst dahinter die Bretter, welche die Wand bilden sollen, möglichst schliefsend in den noch weichen Béton ein, und nagelt sie an die über Wasser liegende oberste Bohle. Die Pfosten, die schon früher durch ein dagegen gelegtes Rahmstück unter sich verbunden waren, werden nunmehr durch Zangen an die Spundwand geankert.

Häufig wählt man zur Darstellung der innern Wände der Fangedämme auch die in Fig. 267 gezeichnete Construction, indem man je zwei gegenüber stehende Pfosten vor ihrer Aufstellung durch Spannriegel und Streben zu einem Rahmen verbindet. Um diese Rahmen zu richten und vorläufig in ihrer Stellung zu halten, müssen sie nicht nur durch übergenagelte Latten gegen die Spundwände befestigt, sondern auch durch angehängte Steine gegen das Aufschwimmen gesichert werden. Eine vollständige Befestigung erhalten sie durch die seitwärts angebrachten Rahmen und die Zangen, die von einer Spundwand bis zu der andern herüberreichen. Bei dieser Anordnung stehn die Pfosten nur auf dem Bétonbette, ohne in dasselbe einzugreifen. Brett-Tafeln, die man gegen sie lehnt, bilden die innern Wände der Fangedämme.

Bevor die Fangedämme geschüttet werden, mufs der Schlamm, der sich auf dem Bétonbette abgelagert hat, möglichst beseitigt werden. Diese Vorsicht ist besonders nöthig, wenn der Damm wieder aus Béton bestehn soll. Wie schon oben erwähnt, wird diese Reinigung durch Sack-Bagger und Pumpen bewirkt. Auf wichtigen Baustellen läfst man sogar die Saugeschläuche der Pumpen von Tauchern führen.

Müssen die **Fangedämme später wieder entfernt** werden, so ist ihr Abbruch, wenn sie aus Béton bestehn und vollständig erhärtet sind, überaus schwierig. Man pflegt daher solche vorzugsweise nur anzuwenden, wo sie nicht hinderlich sind, und zum Theil

die davor und darüber auszuführenden **Mauern** ersetzen, denen sie an Härte und Tragfähigkeit nicht bedeutend nachstehn. Dabei ist freilich eine vollständige und innige Verbindung des Bétons mit dem Mauerwerk nicht zu erwarten, woher man die Gesammt-Stärke etwas gröſser annehmen muſs, als bei einer in gehörigem Verbande ausgeführten Mauer erforderlich gewesen wäre. Man muſs auch guten hydraulischen Mörtel verwenden, der bald abbindet und ein späteres Setzen der Mauer verhindert.

Bisweilen werden in solchen Fällen die Béton-Fangedämme auf der Seite, welche der Baugrube zugekehrt ist, dossirt, hierdurch wird aber die gehörige Ablagerung des Bétons, der wegen der übergreifenden Zangen nur in Kasten versenkt werden kann, wesentlich verhindert.

Bei Schleusenbauten bietet sich vielfach Gelegenheit, nicht nur an beiden Seiten, sondern auch gegen das Oberwasser Béton-Fangedämme zu benutzen, insofern der Oberboden den in der letzten Richtung ausgeführten Fangedamm überdeckt, oder nur wenig darunter bleibt. Nicht selten bildet man auch den Abschluſs gegen das Unterwasser gleichfalls aus Béton. Dieser Damm muſs aber später entfernt werden, und gemeinhin läſst sich dieses nicht anders, als durch Sprengen mit Pulver ausführen. Um dabei das schwierige Bohren der Löcher, worin die Schüsse eingesetzt werden, zu umgehn, hat man zuweilen cylindrische Eisen-Stangen von passender Stärke in die untere Bétonlage eingestellt und bis zur vollen Höhe des Dammes umschüttet, wodurch jene Bohrlöcher sich bildeten.

Es muſs noch einer eigenthümlichen Beschränkung der Höhe der Fangedämme erwähnt werden, wodurch eine Ermäſsigung der Stärke des Bétonbettes zulässig wird. Diese Stärke ist so zu bestimmen, daſs nach Trockenlegung der Baugrube die von unten dagegen tretenden Quellen das Bette nicht durchbrechen, eine solche Gefahr verschwindet aber, wenn das ganze Bauwerk fertig oder zum Theil ausgeführt ist. Ist dasselbe eine Schiffsschleuse oder ein Trockendock, so beseitigt sich schon die Gefahr, sobald man den Boden mit dem verkehrten Gewölbe überspannt hat. Es kommt also nur darauf an, während einer gewissen Periode den Wasserdruck zu mäſsigen, und dieses ist möglich, wenn man neben, oder noch besser rings um die ganze Baustelle Gräben eröffnet, in welchen man durch kräftige Schöpfmaschinen den **Wasserspiegel senkt**. Unter Vor-

aussetzung eines durchlässigen Untergrundes, der etwa aus Kies besteht, wird alsdann der Druck in der Baugrube nur diesem äufsern Wasserstande und nicht dem des natürlichen Grundwassers entsprechen. Wenn man aber den Fangedämmen, welche die Baugrube umschliefsen, nur eine Höhe giebt, welche diesen gesenkten Wasserstand etwas überragt, so vermindern sich nicht nur die Kasten, sondern man gewinnt auch die Sicherheit, dafs das Bétonbette keinem zu starken Drucke ausgesetzt werden kann, weil bei höherem Wasserstande die Baugrube sich anfüllt, und der Druck aufhört. Es ist nicht zu verkennen, dafs eine solche Anordnung, wobei man eine innere und eine äufsere Baugrube darstellt, wegen der Schöpfmaschinen sich vertheuert, aber in Betreff der Ersparung an Béton sowol für das Bette, als für die Fangedämme veranlafst sie doch eine wesentliche Ermäfsigung der Kosten, namentlich da die Schöpfmaschinen nur während des Beginnes der Maurer-Arbeiten in Betrieb bleiben dürfen. Beim Bau der Schleuse zu St. Valery sur Somme kam vor etwa 50 Jahren dieses Verfahren zur Anwendung. *)

Bei Bétonfundirungen ereignet es sich zuweilen, dafs an einzelnen Stellen bedeutende Quellen durchtreten. Eine Unregelmäfsigkeit beim Versenken des Bétons, oder ein zu frühzeitiges Auspumpen des Wassers, vielleicht auch eine zu starke Wasserwältigung in späterer Zeit, während die Quellen gerade besonders reichhaltig waren, können hierzu Veranlassung geben. Wenn ein solcher Fall eingetreten ist, mufs eine besondere Vorsicht angewandt werden, um den Zuflufs zu sperren und ihn von dem darüber aufzuführenden Mauerwerk abzuhalten. Wollte man eine undichte Stelle im Béton, welche das Wasser stark durchläfst, durch ein darüber versetztes Werkstück oder durch unmittelbare Uebermaurung schliefsen, so würde der noch weiche Mörtel in dieser Mauer sogleich ausgespült werden, und der Quell würde nach und nach, so oft man ihn abzusperren versucht, immer weiter durch die Mauer dringen und selbige beschädigen, sein Austreten in die Baugrube wäre daher auf solche Art nicht zu hemmen. Man mufs sonach, wenn man die undichte Stelle mit Mauerwerk überdecken will, darin künstlich einen Canal bilden, worin das Wasser mit Leichtigkeit abfliefsen kann. In diesem Falle greift der Quell die Fugen daneben nicht an und der Mörtel in den letzteren kann

---

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1832. *I. pag.* 75.

vollständig erhärten. Ist die Erhärtung erfolgt und tritt das Wasser durch eine gehörig vorgerichtete Ausflufsöffnung hervor, so kann man die letztere leicht verschliefsen und sonach den Quell sperren. Man hat dieses Mittel häufig in Anwendung gebracht und namentlich hölzerne Röhren zur Ausmündung des Quelles benutzt, die eingemauert, und nach der vollständigen Erhärtung des Mörtels durch einen hölzernen Pfropf verschlossen wurden. Dabei tritt aber, wenn man auch die Verschiedenartigkeit des Materials unbeachtet läfst, noch der Uebelstand ein, dafs der Canal im Mauerwerk bleibt, und bei einer zufälligen spätern Oeffnung der umgebenden Fugen das Wasser wieder durch das Bauwerk zu fliefsen anfängt. Es liegt hiernach ein grofser Vorzug in der Methode, den ganzen Canal mit einer Masse auszufüllen, welche vollständig erhärtet und das Mauerwerk an dieser Stelle ersetzt. Zu diesem Zwecke eignet sich am besten ein stark hydraulischer Mörtel. Das dabei anzuwendende Verfahren verdient eine nähere Beschreibung.

Bérigny versuchte zuerst, unter einem Bauwerke die hohlen Räume durch Einspritzen einer dickflüssigen Masse anzufüllen. Unter dem Boden des alten Schiffdocks zu Rochefort hatte das durchdringende Wasser den Grund ausgespült, und es zeigten sich Risse und Versackungen im Mauerwerk, welche den Einsturz des ganzen Baues befürchten liefsen. Durch das erwähnte Verfahren füllte man die Höhlungen wieder an. Man bediente sich dabei einer ausgebohrten eisernen Röhre von 6 Zoll Weite und nahe 4 Fufs Länge, die auf ein im Boden ausgeführtes Bohrloch gestellt wurde. Die Röhre wurde mit einem dicken Thonbrei angefüllt, worauf der passende Kolben mit der Kolbenstange eingesetzt und letztere mittelst eines Rammklotzes, der 160 Pfund wog, eingetrieben wurde. Sobald man auf diese Art nach mehrmaliger Füllung der Röhre kein Material durch das Bohrloch mehr hineinbringen konnte, so wiederholte man dieselbe Operation in einem zweiten Bohrloche, das etwas über 3 Fufs vom ersten entfernt war und eben so in andern. Bei der Spülschleuse zu Dieppe, wo dieselbe Reparatur erforderlich war, benutzte Bérigny statt des Thones schon den Mörtel *), der später zu ähnlichen Arbeiten immer angewendet ist. Es

*) Sganzin, *programmes*. 4. *édition*. *I*. *p*. 52. Bérigny hat diese Arbeiten auch in einem besondern Mémoire beschrieben.

mag bei dieser Gelegenheit noch die Ausfüllung des Rostes unter den Pfeilern der Brücke zu Tours erwähnt werden, die in den Jahren 1835 und 1836 erfolgte. Man mußste hier die Brückenpfeiler ihrer ganzen Höhe nach durchbohren, um zu den Höhlungen unter dem Roste zu gelangen. Das Bohrloch hatte die Länge von 38 Fuſs, seine Weite betrug 5¼ Zoll. Das Eintreiben des Mörtels unter einem starken Drucke, der von oben angebracht wurde, lieſs sich wegen des groſsen Widerstandes in dem langen Bohrloche nicht mehr bewirken, daher wählte Beaudemoulin das Verfahren, daſs er einen durchbohrten eisernen Kolben, dessen Ventile nach unten aufschlugen in der Höhe des Rostes, also unmittelbar über den auszufüllenden Räumen, mittelst des Bohrgestänges auf- und abbewegen lieſs. Dieser Kolben schob das darüber befindliche Material abwärts und füllte auf solche Art die Höhlungen an. Unter dem zehnten Pfeiler der Brücke sollen auf diese Art 1123 Cubikfuſs Mörtel eingepumpt sein, doch war derselbe vorher nicht zubereitet, weil er in diesem Falle zu schnell erhärtete, man sah sich vielmehr gezwungen, die Bestandtheile desselben besonders zu versenken, und die beschriebene Operation bezog sich nur auf den Kalkbrei, während der Sand dazwischen frei eingeschüttet wurde. *)

Die Schlieſsung der ausgesparten künstlichen Canäle, worin die Quellen bis zur vollständigen Erhärtung des umgebenden Mauerwerkes frei abflieſsen, geschieht in ähnlicher Art, man darf aber in diesem Falle nie eine ganz abgeschlossene enge Höhlung zu füllen versuchen, denn das darin enthaltene Wasser kann dem eindringenden Mörtel nicht ausweichen, und sonach erfolgt die Füllung eines solchen Raumes gar nicht, oder doch nur sehr unvollständig. Das Verfahren, das man hierbei in Anwendung bringen muſs, ist folgendes.

Wenn aus dem Bétonbette an einer Stelle eine Wasserader oder ein stärkerer Quell hervortritt, so wird künstlich ein nahe horizontaler Canal von mindestens 3 Zoll Weite dargestellt, worin das Wasser unbehindert abflieſsen kann. Der Quell wird so weit geleitet, bis man ihn sicher eingefaſst hat und man sonach die Schliessung vornehmen kann, ohne ein Durchbrechen des Wassers an einer andern Stelle zu besorgen. Zur Einbringung des Mörtels darf indessen der erwähnte Canal nicht benutzt werden, weil in diesem

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1839. *II. p.* 117.

auf diese die beiden, welche die Drehbrücke überspannt und deren Weiten 42 Fuſs messen. Die nächste ist wieder 201 Fuſs, und die letzten drei sind 120 Fuſs weit. Die sechs Pfeiler zwischen der zehnten und sechszehnten Oeffnung, welche in dem eigentlichen Fluſsbette stehn, sind in Blechkasten und unter Anwendung des Luftdruckes 28 bis 36½ Fuſs unter dem niedrigen Sommerwasserstande gegründet. Die Wassertiefe in der Brückenlinie maaſs bei diesem Wasserstande im Maximum 5 Fuſs. Der Boden bestand zunächst aus Sand und Kies, worin aber möglicher Weise starke Vertiefungen eintreten können, in gröſserer Tiefe fand sich fester Thon, der stellenweise in compacten Mergel überging.

Die Rüstungen, die durch Arbeitsbrücken mit dem einen oder dem andern Ufer verbunden waren, hatte man beim Beginn des Baues ungefähr nach dem Muster der Kehler Brücke angeordnet. Es waren darin wieder zwei über einander befindliche Böden angebracht, von denen im untern eine Oeffnung freigelassen war, durch welche der ganze Kasten versenkt werden konnte, während die ähnliche Oeffnung im obern, durch welche mittelst des Laufkrahnes die gröſsern und schwerern Theile des Senk-Apparates gehoben und herabgelassen wurden, in Abständen von 15 Fuſs durch Balken überspannt war, welche namentlich zur sichern Unterstützung der Schrauben dienten, an denen der Kasten hing. Die Muttern dieser Schrauben ruhten aber nicht auf übergekragten Querbalken, sondern auf je zwei Längsbalken, die theils von starken Streben und theils von den erwähnten übergreifenden Balken getragen wurden.

Indem die Schrauben am stärksten belastet waren, wenn der vollständig zusammengesetzte und sowol in den Wänden, wie auch in der Decke bereits ausgemauerte Kasten von dem untern Boden abgehoben und bis zum Wasser herabgelassen wurde, während dieser Zeit aber die ganze Oeffnung im untern Boden frei bleiben muſste, also hier keine gegenseitige Absteifung angebracht werden durfte, so führte man später die Aenderung ein, daſs der Kasten nicht über dem untern Boden, sondern auf darunter gestellten Prahmen zusammengesetzt und ausgemauert wurde, wodurch es möglich war, der ganzen Rüstung gröſsere Festigkeit zu geben.

Eine andere Abweichung gegen die Rüstung der Kehler Brücke bezog sich darauf, daſs der Laufkrahn nicht auf dem obern Boden

nung des Canales hervortritt, oder wenn man wegen des hohen Wasserstandes in der Baugrube sich hiervon nicht unmittelbar überzeugen kann, bis die eingespritzte Quantität Mörtel überreichlich genügt, um den ganzen Inhalt des Canales zu füllen.

Der Mörtel kann nunmehr von dem Quell nicht sobald durchdrungen werden, weil das Wasser auf eine zu grofse Länge hindurchdringen müfste. Am sichersten ist es, die Operation vorzunehmen, während die Baugrube mit Wasser gefüllt bleibt. Wenn nach einiger Zeit der Mörtel erhärtet ist, so wird durch ihn nicht nur der Wasserlauf vollständig gesperrt, sondern das Mauerwerk ist auch durch den Béton, also eine ähnliche Masse, ersetzt, und der frühere Canal kann kaum noch als eine schwache Stelle angesehn werden, Dieses Verfahren ist so sicher, dafs man bei einiger Uebung und einiger Vorsicht in seinem Gebrauche wegen des Erfolges nicht besorgt sein darf, doch mufs der Canal in seiner ganzen Länge und in beiden Mündungen gehörig geöffnet sein. Wenn dagegen diese Bedingung nicht erfüllt ist, so darf man auch auf einen günstigen Erfolg nicht rechnen. Hieraus erklärt es sich auch, weshalb die Versuche, das Bétonbette selbst durch eingespritzten Mörtel zu dichten, immer erfolglos geblieben sind.*).

Wenn das Bétonbette zu schwach, oder beim Auspumpen noch nicht gehörig erhärtet war, so bricht es der Länge nach auf, und die in dieser Weise entstandene Fuge läfst sich nicht schliefsen. Sie ist freilich ohne wesentlichen Nachtheil, wenn man eine hohe Mauermasse, etwa einen Brückenpfeiler darauf stellen will, wenn aber wie im Schleusenboden nur eine schwache Uebermaurung oder etwa ein umgekehrtes Gewölbe darüber kommt, so pflegt die Fuge sogleich durch dieses sich fortzusetzen und der Boden hebt und senkt sich, jenachdem die Baugrube ausgepumpt wird, oder sich mit Wasser füllt. Bei einer Schleuse an der Ruhr war diese Bewegung sehr deutlich zu erkennen, indem die Oberkanten der Bétonfangedämme

---

*) In den *Annales des ponts et chaussées* befinden sich über diesen Gegenstand mehrere Aufsätze, die vorstehende Beschreibung des Verfahrens verdanke ich jedoch der sehr gefälligen mündlichen Mittheilung des rühmlichst bekannten Ingenieur Mary, der ähnliche Arbeiten vielfach geleitet hat, und im Jahre 1840 unter Vorzeigung der betreffenden Pumpen mich damit bekannt machte.

bei solchem Wechsel des Wasserstandes um 1¼ Linien sich einander näherten oder entfernten. Glücklicher Weise war die Schleuse nach ihrer Vollendung keinem starken Wasserdruck ausgesetzt und sie hat sich auch schon mehrere Jahrzehende hindurch ohne Beschädigung erhalten.

Vielfach versucht man die Quellen durch eingeworfenen schnell bindenden Cement zu stopfen. Dieses Mittel ist wiederholentlich bei den Hafenbauten in Saint-Nazaire und nach der Mittheilung des Ingenieur Ferme *) stets mit dem besten Erfolge zur Anwendung gebracht. Ueber einem festen, aber vielfach gespaltenen Felsboden wurden Mauern in Bruchsteinen ausgeführt. Sobald man auf einen Quell traf, mufste derselbe von den noch nicht erhärteten Mörtelfugen und namentlich auch von den Lagerfugen der untern Steinschicht entfernt gehalten werden, weil hier wegen der ziemlich ebenen Oberfläche des Felsens besonders leicht sich weit geöffnete Wasserläufe bildeten. Die Quellen waren im Allgemeinen nicht reich, doch traten sie unter starkem Drucke vor. Man liefs mehrere Fufs weit um sie den Raum frei, so dafs über ihnen ein weit geöffneter Schacht in der Mauer sich bildete, den sie bis zu einer gewissen Höhe anfüllten, wo man das Wasser seitwärts abfliefsen liefs. War in dieser Weise die Mauer etwa 4 Fufs hoch aufgeführt, so stellte man eine eiserne Röhre von 3 bis 4 Zoll Weite ein und ummauerte diese mit schnell bindendem Mörtel. Das Quellwasser flofs während dieser Zeit durch die Röhre frei ab, übte also nur einen mäfsigen Druck auf die frischen Fugen aus. Waren endlich letztere vollständig erhärtet, so dafs man sie ohne Nachtheil einem stärkeren Angriff aussetzen durfte, so ging man zur Absperrung des Quells über, die allerdings möglichst schnell erfolgen mufste. Man stellte in jene Röhre das Saugerohr einer Pumpe, und setzte diese kräftig in Bewegung, um die Röhre ganz oder doch grofsentheils zu entleeren, alsdann stürzte ein andrer Arbeiter trocknen schnell bindenden Cement in solcher Masse hinein, dafs die Röhre damit bis zur Hälfte oder zwei Drittheilen der Höhe gefüllt wurde, und ein dritter Arbeiter schob unmittelbar darauf einen vorher vorbereiteten hölzernen Pflock in die Mündung der Röhre und trieb ihn fest ein. Nach 48 Stunden nahm man den Pflock heraus, der Quell

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1869. *I. pag.* 420.

war alsdann vollständig gestopft, doch pflegte der obere Theil der Röhre mit Wasser gefüllt zu sein. Dieses pumpte man wieder aus, und stampfte Béton ein.

Um das Durchdringen von Quellen durch Bétonbettungen zu verhindern, hat man in Frankreich wiederholentlich den Béton nicht unmittelbar auf die Sohle der Baugrube, sondern auf wasserdichte Leinwand geschüttet. Treussart soll dieses Verfahren zuerst empfohlen haben, und es ist, wie es scheint, immer mit günstigem Erfolge angewendet worden, weil eines Theils die im Bétonbette etwa vorkommenden schwachen und undichten Stellen vor dem ersten Hinzutreten der feinen Wasseradern gesichert bleiben, auch verhindert die Leinwand die Ablösung des Schlammes von der Oberfläche des natürlichen Bodens und die Verunreinigung des Bétons durch denselben. Bei den Schleusenbauten in dem Ardennen-Canale hat man besonders hiervon Gebrauch gemacht und eine starke und mehrfach mit Theer bestrichene Leinwand benutzt. Um diese aber gegen Beschädigung durch die scharfen Ecken der Steine zu sichern, hat man sie sowohl oben, als auch unten mit gewöhnlicher Leinwand umgeben. Eine andere Vorsichtsmaasregel, die bei der Schleuse zu Brienne in Anwendung kam, bestand darin, daſs man kurze Holzstücke in dünnen Bündeln mehrfach unter die Leinwand und zwar normal gegen die Längenachse der Schleuse befestigte, um auf diese Art den Quellen einen Seitenabfluſs wie in Rigolen zu eröffnen. *) Eine solche Anordnung dürfte aber auf einem stark durchdringlichen Boden, wo vorzugsweise die Bétonfundirungen Anwendung finden, überflüssig sein.

Das vorstehend beschriebene Verfahren bei Bétonfundirungen bezog sich zunächst auf den Fall, daſs der Baugrund sehr sandig ist und bei einer starken Senkung des Grundwassers aufgelockert wird und dadurch an Tragfähigkeit verliert. Die erwähnten Methoden bleiben aber dieselben, wenn man bei einem festen Baugrunde wegen der Reichhaltigkeit der zudringenden Quellen zu dieser Fundirungsart gezwungen ist. Namentlich tritt der letzte Fall in einem klüftigen Kalkboden häufig ein, und ebenso in jedem Fels-

*) Ueber die Anwendung der wasserdichten Leinwand handelt besonders ein Aufsatz von Barré de Saint-Venant in den *Annales des ponts et chaussées.* 1834. *I. p.* 125.

stellte sich also nur die Aufgabe, die Schleuse so einzurichten, dafs sie nicht früher mit der äufsern Luft in Verbindung gesetzt werden durfte, bis eine grofse Quantität Erde darin angesammelt war, und sonach das häufige Durchschleusen entbehrlich wurde.

Diese Schleuse, gleichfalls von cylindrischer Gestalt, erhielt hiernach die Weite von 8 Fufs und die Höhe von 7 Fufs. Der obere Eingang, dessen Lage in Fig. 275. *b* durch den punktirten Kreis angedeutet ist, befand sich seitwärts, der untere dagegen in der Mitte des Cylinders und des Schachtes. Der Raum der Schleuse zerlegte sich aber in zwei Seitenkammern und in den mittleren Gang, der zwischen jenen ungefähr diametral hindurchging. Den Abschlufs bildeten Blechwände von 3 Fufs Höhe, welche an ihren Enden gegen die cylindrische Wand geniethet und aufserdem durch je drei eiserne Haken von dieser gehalten wurden, damit sie bei der Füllung der Kammern mit Erde nicht etwa in den Gang gedrängt würden. Jede Kammer fafste, wenn sie ganz gefüllt war, 50 Cubikfufs, doch wurde darin gewöhnlich nur etwa $\frac{1}{4}$, oder in beide Kammern zusammen $\frac{1}{2}$ Schachtruthe eingebracht.

In dem mittleren Gange befand sich auf der einen Seite die Leiter, die zur obern Einsteige-Oeffnung führte, auf der andern dagegen die Winde-Vorrichtung, mittelst deren die obere, wie die untere Klappe gehoben und herabgelassen wurde. Zwei Thüren, in der Figur mit *C* bezeichnet, stellten die Verbindung mit den Kammern dar, aufserdem war daneben noch eine kleine Leiter angebracht, von welcher aus der Inhalt der Eimer über die Blechwand gestürzt werden konnte, sobald wegen höherer Füllung der Kammern die Thüren geschlossen werden mufsten.

Zum Entleeren der Kammern waren aufserdem in jeder Wand noch zwei Schütze *D* angebracht. Nach dem Ziehn derselben verbreitete sich das gehobene Material über beide Enden des Ganges, und hier befanden sich zwei Oeffnungen im Boden, mit luftdicht schliefsenden Klappen *E*, die vor dem Ziehn der Schütze aufgeschlagen wurden. Auf diese Art brauchte die Erde nicht weiter gehoben zu werden, sie wurde vielmehr nur durch die Schütz-Oeffnungen nach den Oeffnungen im Boden geschoben, von wo sie über stark geneigte Rinnen von selbst in die Prahme herabfiel.

Bevor die in den Kammern angesammelte Erde beseitigt werden kann, mufs die Verbindung mit dem Schachte aufgehoben, also die

benutzt hat, die man wie Brunnenkessel versenkt und mit Béton füllt. Diese Methode zeigt sich besonders unter Anwendung comprimirter Luft (§. 50) sehr vortheilhaft.

Schliefslich wäre zu bemerken, dafs man vielfach und namentlich in Frankreich den Béton nicht nur unter Wasser, sondern auch in solchen Fällen anwendet, wo gewöhnliches Mauerwerk ausführbar ist. So hat man die Bassins zu Wasserleitungen verschiedentlich ganz aus Béton erbaut. Das Reservoir Racine in der Strafse gleiches Namens in Paris, das in drei Abtheilungen 194000 Cubikfufs fafst, ist in dieser Art construirt. Der Baugrund war hier so schlecht, dafs man mit den Fundamenten der Pfeiler, die nur aus Béton bestehn, 15 Fufs tief herabgehn mufste. Zwischen diese Pfeiler sind Kreuzgewölbe von etwa 10 Fufs Spannung aus Béton ausgeführt, die mit ihrer Uebermaurung den Boden des Bassins bilden. Sie hatten sich gut gehalten und man bemerkte nur hin und wieder einzelne Tropfen an der untern Fläche dieser mit einem 10 Fufs hohen Wasserstande belasteten Gewölbe. Es war Absicht gewesen, die Bassins von innen mit einer festen Cementschicht zu überziehn, die von Zeit zu Zeit ausgebessert werden sollte. Hierbei zeigte sich aber der Uebelstand, dafs auf dem Béton kein Ueberzug sicher haftet, und aus diesem Grunde hat man das später ausgeführte Bassin Vaugirard neben dem Boulevard des Invalides mit Wänden umgeben, die nur im Innern aus Béton bestehn und von beiden Seiten mit Stücken des sehr porösen Mühlsteines, der an der Marne bricht, verkleidet sind. Auf diesem haftet der Ueberzug aus Cement sehr gut, und läfst sich daran, so oft es nöthig ist, auch erneuern. Dieses letztgenannte Bassin besteht aus zwei Abtheilungen und fafst im Ganzen 323000 Cubikfufs. Es wird durch dieselben Leitungen aus dem Ourcq-Canale gespeist, welche die Springbrunnen auf dem Place de la Concorde mit Wasser versehn, und zwar geschieht die Füllung dieses Bassins nur während der Nacht, wenn die Springbrunnen nicht fliefsen. Die Mauern des Bassins Vaugirard sind 16 Fufs hoch, oben 5 Fufs breit, zu beiden Seiten stark dossirt und unten mit einer überwölbten Galerie umgeben, durch welche man die Filtrationen leicht zu entdecken und deren nachtheiligen Einflufs auf die umgebenden Grundstücke zu beseitigen hofft.

Eben so, wie bei Wasser-Reservoiren pflegt man in Frankreich

auch bei Canal-Schleusen, deren Baugrube vollständig trocken, und vom Wasserzudrange ganz frei ist, unter den gewölbten Boden eine 3 bis 4 Fuſs starke Bétonschicht zu legen, obwohl der Ausführung des Mauerwerks nichts entgegensteht. Das in gehörigem Verbande und mit vollen Fugen sorgfältig ausgeführte Mauerwerk hat in jeder Beziehung vor dem Béton Vorzüge, wenn aber diese Sorgfalt fehlt, so steht es ihm leicht bei Weitem nach. Die künstlichen Blöcke, die zur Ueberdeckung der Steinschüttungen der Hafendämme dienen, wurden in einem unserer Häfen theils aus gespaltenen Graniten gemauert, theils aus demselben zerschlagenen Granit in Béton dargestellt, während derselbe Mörtel in beiden Fällen benutzt wurde. Es stellte sich augenscheinlich heraus, daſs die Béton-Blöcke nicht so leicht zerbrachen, noch auch sich abrundeten als die gemauerten, während doch diese wegen des Verbandes eine viel gröſsere Festigkeit haben sollten. Es zeigte sich indessen, daſs dieser Verband höchst unvollkommen war, die Fugen schienen auch vielfach offen geblieben zu sein und namentlich haftete der Mörtel viel weniger an den vermauerten, als an den im Béton verarbeiteten Granitstücken. Dieses rührte ohne Zweifel davon her, daſs für die gehörige Benetzung nicht gesorgt war. Dazu kam noch das nicht zu beseitigende Bemühn der Maurer, den Blöcken ein recht regelmäſsiges Ansehn zu geben, woher an den Seitenflächen vielfach Steine verwendet waren, die gar nicht einbanden.

Die Zubereitung des Mörtels und des Bétons läſst sich dagegen, besonders wenn Beides in Maschinen geschieht, leicht controlliren, und eben so die Schüttung und Befestigung desselben durch Andrücken und Ausebnen. Es können daher hierbei solche Fehler, wie bei der gewöhnlichen Maurerarbeit, wenn hinreichende Aufsicht fehlt, nicht vorkommen, und es rechtfertigt sich daher, unter solchen Verhältnissen dem Béton den Vorzug zu geben.

§. 49.
Senk-Kasten.

Man kannte schon im Alterthum das Verfahren, in tiefem Wasser durch Versenken von Schiffen künstlich einen Baugrund zu bil-

den, worauf Hafendämme oder andre schwere Bauwerke gestellt wurden. Diese Methode wurde wesentlich verbessert, als man die Schiffe nicht mehr mit losen Steinen füllte, sondern sie vollständig ausmauerte, was im Trocknen geschah, während die Schiffe noch schwammen. Sie versanken erst, wenn man das Wasser eintreten liefs. Man erreichte auf solche Art den Vortheil, dafs man eine grofse zusammenhängende Masse darstellte, welche zum Tragen des Oberbaues geeigneter war, als eine lose Steinschüttung. Um ein gehörig sicheres Fundament zu bilden, mufste das Schiff aber auch mit einer grofsen Basis sich auf den Grund aufstellen. Benutzt man hierbei statt gewöhnlicher Schiffe solche, die besonders zu diesem Zwecke erbaut sind, so giebt man ihnen flache Boden und senkrechte Wände. Erstere vertreten alsdann die Roste, und letztere sind nur während des Baues selbst, wo sie als Fangedämme dienen, von Nutzen, man mufs sie also in der Art befestigen, dafs sie sich von oben lösen und entfernen lassen, und man kann sie alsdann bei den folgenden in gleicher Art construirten Kasten aufs Neue gebrauchen. Diese Kasten heifsen gewöhnlich übereinstimmend mit ihrer französischen Benennung Caissons, doch wird bei uns dafür vielfach auch der Ausdruck Senk-Kasten gewählt. Es ist nicht zu leugnen, dafs dieses Verfahren die Schwierigkeiten einer Fundirung in tiefem Wasser wesentlich vermindert, und es fand daher besonders in Frankreich und England vielfache Anwendung. In Deutschland ist davon nur selten Gebrauch gemacht worden, aber auch im Auslande ist man in der neusten Zeit, nachdem die Bétonfundirung üblich geworden ist, hiervon beinahe ganz zurückgekommen, wozu wohl die Unfälle wesentlich beigetragen haben, welche bei den in Caissons fundirten Bauwerken sich häufig ereigneten. Aus diesen Gründen ist es entbehrlich, die ältere Methode noch mit allen dabei vorkommenden Modificationen zu beschreiben, es wird vielmehr genügen, das Verfahren im Allgemeinen zu bezeichnen.

Zunächst entsteht die Frage, ob man den Boden des Caissons unmittelbar auf den gehörig geebneten Grund, oder auf Pfähle stellen soll. Im ersten Falle vertritt der hölzerne Boden die Stelle eines liegenden Rostes und im zweiten die eines Pfahlrostes. Beides kommt vor. Wenn man den Kasten unmittelbar auf den Grund stellt, so mufs letzterer geebnet und so tief gegen das umgebende Flufsbette gesenkt werden, dafs keine Unterspülung eintre-

vollständig erhärten. Ist die Erhärtung erfolgt und tritt das Wasser durch eine gehörig vorgerichtete Ausflußöffnung hervor, so kann man die letztere leicht verschließen und sonach den Quell sperren. Man hat dieses Mittel häufig in Anwendung gebracht und namentlich hölzerne Röhren zur Ausmündung des Quelles benutzt, die eingemauert, und nach der vollständigen Erhärtung des Mörtels durch einen hölzernen Pfropf verschlossen wurden. Dabei tritt aber, wenn man auch die Verschiedenartigkeit des Materials unbeachtet läßt, noch der Uebelstand ein, daß der Canal im Mauerwerk bleibt, und bei einer zufälligen spätern Oeffnung der umgebenden Fugen das Wasser wieder durch das Bauwerk zu fließen anfängt. Es liegt hiernach ein großer Vorzug in der Methode, den ganzen Canal mit einer Masse auszufüllen, welche vollständig erhärtet und das Mauerwerk an dieser Stelle ersetzt. Zu diesem Zwecke eignet sich am besten ein stark hydraulischer Mörtel. Das dabei anzuwendende Verfahren verdient eine nähere Beschreibung.

Bérigny versuchte zuerst, unter einem Bauwerke die hohlen Räume durch Einspritzen einer dickflüssigen Masse anzufüllen. Unter dem Boden des alten Schiffdocks zu Rochefort hatte das durchdringende Wasser den Grund ausgespült, und es zeigten sich Risse und Versackungen im Mauerwerk, welche den Einsturz des ganzen Baues befürchten ließen. Durch das erwähnte Verfahren füllte man die Höhlungen wieder an. Man bediente sich dabei einer ausgebohrten eisernen Röhre von 6 Zoll Weite und nahe 4 Fuß Länge, die auf ein im Boden ausgeführtes Bohrloch gestellt wurde. Die Röhre wurde mit einem dicken Thonbrei angefüllt, worauf der passende Kolben mit der Kolbenstange eingesetzt und letztere mittelst eines Rammklotzes, der 160 Pfund wog, eingetrieben wurde. Sobald man auf diese Art nach mehrmaliger Füllung der Röhre kein Material durch das Bohrloch mehr hineinbringen konnte, so wiederholte man dieselbe Operation in einem zweiten Bohrloche, das etwas über 3 Fuß vom ersten entfernt war und eben so in andern. Bei der Spülschleuse zu Dieppe, wo dieselbe Reparatur erforderlich war, benutzte Bérigny statt des Thones schon den Mörtel *), der später zu ähnlichen Arbeiten immer angewendet ist. Es

*) Sganzin, *programmes*. 4. *édition*. *I*. *p*. 52. Bérigny hat diese Arbeiten auch in einem besondern Mémoire beschrieben.

mag bei dieser Gelegenheit noch die Ausfüllung des Rostes unter den Pfeilern der Brücke zu Tours erwähnt werden, die in den Jahren 1835 und 1836 erfolgte. Man mufste hier die Brückenpfeiler ihrer ganzen Höhe nach durchbohren, um zu den Höhlungen unter dem Roste zu gelangen. Das Bohrloch hatte die Länge von 38 Fufs, seine Weite betrug 5¼ Zoll. Das Eintreiben des Mörtels unter einem starken Drucke, der von oben angebracht wurde, liefs sich wegen des grofsen Widerstandes in dem langen Bohrloche nicht mehr bewirken, daher wählte Beaudemoulin das Verfahren, dafs er einen durchbohrten eisernen Kolben, dessen Ventile nach unten aufschlugen in der Höhe des Rostes, also unmittelbar über den auszufüllenden Räumen, mittelst des Bohrgestänges auf- und abbewegen liefs. Dieser Kolben schob das darüber befindliche Material abwärts und füllte auf solche Art die Höhlungen an. Unter dem zehnten Pfeiler der Brücke sollen auf diese Art 1123 Cubikfufs Mörtel eingepumpt sein, doch war derselbe vorher nicht zubereitet, weil er in diesem Falle zu schnell erhärtete, man sah sich vielmehr gezwungen, die Bestandtheile desselben besonders zu versenken, und die beschriebene Operation bezog sich nur auf den Kalkbrei, während der Sand dazwischen frei eingeschüttet wurde. *)

Die Schliefsung der ausgesparten künstlichen Canäle, worin die Quellen bis zur vollständigen Erhärtung des umgebenden Mauerwerkes frei abfliefsen, geschieht in ähnlicher Art, man darf aber in diesem Falle nie eine ganz abgeschlossene enge Höhlung zu füllen versuchen, denn das darin enthaltene Wasser kann dem eindringenden Mörtel nicht ausweichen, und sonach erfolgt die Füllung eines solchen Raumes gar nicht, oder doch nur sehr unvollständig. Das Verfahren, das man hierbei in Anwendung bringen mufs, ist folgendes.

Wenn aus dem Bétonbette an einer Stelle eine Wasserader oder ein stärkerer Quell hervortritt, so wird künstlich ein nahe horizontaler Canal von mindestens 3 Zoll Weite dargestellt, worin das Wasser unbehindert abfliefsen kann. Der Quell wird so weit geleitet, bis man ihn sicher eingefafst hat und man sonach die Schliessung vornehmen kann, ohne ein Durchbrechen des Wassers an einer andern Stelle zu besorgen. Zur Einbringung des Mörtels darf indessen der erwähnte Canal nicht benutzt werden, weil in diesem

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1839. *II.* p. 117.

die davor und darüber auszuführenden Mauern ersetzen, denen sie an Härte und Tragfähigkeit nicht bedeutend nachstehn. Dabei ist freilich eine vollständige und innige Verbindung des Bétons mit dem Mauerwerk nicht zu erwarten, woher man die Gesammt-Stärke etwas gröſser annehmen muſs, als bei einer in gehörigem Verbande ausgeführten Mauer erforderlich gewesen wäre. Man muſs auch guten hydraulischen Mörtel verwenden, der bald abbindet und ein späteres Setzen der Mauer verhindert.

Bisweilen werden in solchen Fällen die Béton-Fangedämme auf der Seite, welche der Baugrube zugekehrt ist, dossirt, hierdurch wird aber die gehörige Ablagerung des Bétons, der wegen der übergreifenden Zangen nur in Kasten versenkt werden kann, wesentlich verhindert.

Bei Schleusenbauten bietet sich vielfach Gelegenheit, nicht nur an beiden Seiten, sondern auch gegen das Oberwasser Béton-Fangedämme zu benutzen, insofern der Oberboden den in der letzten Richtung ausgeführten Fangedamm überdeckt, oder nur wenig darunter bleibt. Nicht selten bildet man auch den Abschluſs gegen das Unterwasser gleichfalls aus Béton. Dieser Damm muſs aber später entfernt werden, und gemeinhin läſst sich dieses nicht anders, als durch Sprengen mit Pulver ausführen. Um dabei das schwierige Bohren der Löcher, worin die Schüsse eingesetzt werden, zu umgehn, hat man zuweilen cylindrische Eisen-Stangen von passender Stärke in die untere Bétonlage eingestellt und bis zur vollen Höhe des Dammes umschüttet, wodurch jene Bohrlöcher sich bildeten.

Es muſs noch einer eigenthümlichen Beschränkung der Höhe der Fangedämme erwähnt werden, wodurch eine Ermäſsigung der Stärke des Bétonbettes zulässig wird. Diese Stärke ist so zu bestimmen, daſs nach Trockenlegung der Baugrube die von unten dagegen tretenden Quellen das Bette nicht durchbrechen, eine solche Gefahr verschwindet aber, wenn das ganze Bauwerk fertig oder zum Theil ausgeführt ist. Ist dasselbe eine Schiffsschleuse oder ein Trockendock, so beseitigt sich schon die Gefahr, sobald man den Boden mit dem verkehrten Gewölbe überspannt hat. Es kommt also nur darauf an, während einer gewissen Periode den Wasserdruck zu mäsigen, und dieses ist möglich, wenn man neben, oder noch besser rings um die ganze Baustelle Gräben eröffnet, in welchen man durch kräftige Schöpfmaschinen den Wasserspiegel senkt. Unter Vor-

aussetzung eines durchlässigen Untergrundes, der etwa aus Kies besteht, wird alsdann der Druck in der Baugrube nur diesem äufsern Wasserstande und nicht dem des natürlichen Grundwassers entsprechen. Wenn man aber den Fangedämmen, welche die Baugrube umschliefsen, nur eine Höhe giebt, welche diesen gesenkten Wasserstand etwas überragt, so vermindern sich nicht nur die Kasten, sondern man gewinnt auch die Sicherheit, dafs das Bétonbette keinem zu starken Drucke ausgesetzt werden kann, weil bei höherem Wasserstande die Baugrube sich anfüllt, und der Druck aufhört. Es ist nicht zu verkennen, dafs eine solche Anordnung, wobei man eine innere und eine äufsere Baugrube darstellt, wegen der Schöpfmaschinen sich vertheuert, aber in Betreff der Ersparung an Béton sowol für das Bette, als für die Fangedämme veranlafst sie doch eine wesentliche Ermäfsigung der Kosten, namentlich da die Schöpfmaschinen nur während des Beginnes der Maurer-Arbeiten in Betrieb bleiben dürfen. Beim Bau der Schleuse zu St. Valery sur Somme kam vor etwa 50 Jahren dieses Verfahren zur Anwendung. *)

Bei Bétonfundirungen ereignet es sich zuweilen, dafs an einzelnen Stellen bedeutende Quellen durchtreten. Eine Unregelmäfsigkeit beim Versenken des Bétons, oder ein zu frühzeitiges Auspumpen des Wassers, vielleicht auch eine zu starke Wasserwältigung in späterer Zeit, während die Quellen gerade besonders reichhaltig waren, können hierzu Veranlassung geben. Wenn ein solcher Fall eingetreten ist, mufs eine besondere Vorsicht angewandt werden, um den Zuflufs zu sperren und ihn von dem darüber aufzuführenden Mauerwerk abzuhalten. Wollte man eine undichte Stelle im Béton, welche das Wasser stark durchläfst, durch ein darüber versetztes Werkstück oder durch unmittelbare Uebermaurung schliefsen, so würde der noch weiche Mörtel in dieser Mauer sogleich ausgespült werden, und der Quell würde nach und nach, so oft man ihn abzusperren versucht, immer weiter durch die Mauer dringen und selbige beschädigen, sein Austreten in die Baugrube wäre daher auf solche Art nicht zu hemmen. Man mufs sonach, wenn man die undichte Stelle mit Mauerwerk überdecken will, darin künstlich einen Canal bilden, worin das Wasser mit Leichtigkeit abfliefsen kann. In diesem Falle greift der Quell die Fugen daneben nicht an und der Mörtel in den letzteren kann

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1832. *I. pag.* 75.

vollständig erhärten. Ist die Erhärtung erfolgt und tritt das Wasser durch eine gehörig vorgerichtete Ausflufsöffnung hervor, so kann man die letztere leicht verschliefsen und sonach den Quell sperren. Man hat dieses Mittel häufig in Anwendung gebracht und namentlich hölzerne Röhren zur Ausmündung des Quelles benutzt, die eingemauert, und nach der vollständigen Erhärtung des Mörtels durch einen hölzernen Pfropf verschlossen wurden. Dabei tritt aber, wenn man auch die Verschiedenartigkeit des Materials unbeachtet läfst, noch der Uebelstand ein, dafs der Canal im Mauerwerk bleibt, und bei einer zufälligen spätern Oeffnung der umgebenden Fugen das Wasser wieder durch das Bauwerk zu fliefsen anfängt. Es liegt hiernach ein grofser Vorzug in der Methode, den ganzen Canal mit einer Masse auszufüllen, welche vollständig erhärtet und das Mauerwerk an dieser Stelle ersetzt. Zu diesem Zwecke eignet sich am besten ein stark hydraulischer Mörtel. Das dabei anzuwendende Verfahren verdient eine nähere Beschreibung.

Bérigny versuchte zuerst, unter einem Bauwerke die hohlen Räume durch Einspritzen einer dickflüssigen Masse anzufüllen. Unter dem Boden des alten Schiffdocks zu Rochefort hatte das durchdringende Wasser den Grund ausgespült, und es zeigten sich Risse und Versackungen im Mauerwerk, welche den Einsturz des ganzen Baues befürchten liefsen. Durch das erwähnte Verfahren füllte man die Höhlungen wieder an. Man bediente sich dabei einer ausgebohrten eisernen Röhre von 6 Zoll Weite und nahe 4 Fufs Länge, die auf ein im Boden ausgeführtes Bohrloch gestellt wurde. Die Röhre wurde mit einem dicken Thonbrei angefüllt, worauf der passende Kolben mit der Kolbenstange eingesetzt und letztere mittelst eines Rammklotzes, der 160 Pfund wog, eingetrieben wurde. Sobald man auf diese Art nach mehrmaliger Füllung der Röhre kein Material durch das Bohrloch mehr hineinbringen konnte, so wiederholte man dieselbe Operation in einem zweiten Bohrloche, das etwas über 3 Fufs vom ersten entfernt war und eben so in andern. Bei der Spülschleuse zu Dieppe, wo dieselbe Reparatur erforderlich war, benutzte Bérigny statt des Thones schon den Mörtel *), der später zu ähnlichen Arbeiten immer angewendet ist. Es

*) Sganzin, *programmes*. 4. *édition*. *I*. *p*. 52. Bérigny hat diese Arbeiten auch in einem besondern Mémoire beschrieben.

mag bei dieser Gelegenheit noch die Ausfüllung des Rostes unter den Pfeilern der Brücke zu Tours erwähnt werden, die in den Jahren 1835 und 1836 erfolgte. Man mufste hier die Brückenpfeiler ihrer ganzen Höhe nach durchbohren, um zu den Höhlungen unter dem Roste zu gelangen. Das Bohrloch hatte die Länge von 38 Fufs, seine Weite betrug 5¼ Zoll. Das Eintreiben des Mörtels unter einem starken Drucke, der von oben angebracht wurde, liefs sich wegen des grofsen Widerstandes in dem langen Bohrloche nicht mehr bewirken, daher wählte Beaudemoulin das Verfahren, dafs er einen durchbohrten eisernen Kolben, dessen Ventile nach unten aufschlugen in der Höhe des Rostes, also unmittelbar über den auszufüllenden Räumen, mittelst des Bohrgestänges auf- und abbewegen liefs. Dieser Kolben schob das darüber befindliche Material abwärts und füllte auf solche Art die Höhlungen an. Unter dem zehnten Pfeiler der Brücke sollen auf diese Art 1123 Cubikfufs Mörtel eingepumpt sein, doch war derselbe vorher nicht zubereitet, weil er in diesem Falle zu schnell erhärtete, man sah sich vielmehr gezwungen, die Bestandtheile desselben besonders zu versenken, und die beschriebene Operation bezog sich nur auf den Kalkbrei, während der Sand dazwischen frei eingeschüttet wurde. *)

Die Schliefsung der ausgesparten künstlichen Canäle, worin die Quellen bis zur vollständigen Erhärtung des umgebenden Mauerwerkes frei abfliefsen, geschieht in ähnlicher Art, man darf aber in diesem Falle nie eine ganz abgeschlossene enge Höhlung zu füllen versuchen, denn das darin enthaltene Wasser kann dem eindringenden Mörtel nicht ausweichen, und sonach erfolgt die Füllung eines solchen Raumes gar nicht, oder doch nur sehr unvollständig. Das Verfahren, das man hierbei in Anwendung bringen mufs, ist folgendes.

Wenn aus dem Bétonbette an einer Stelle eine Wasserader oder ein stärkerer Quell hervortritt, so wird künstlich ein nahe horizontaler Canal von mindestens 3 Zoll Weite dargestellt, worin das Wasser unbehindert abfliefsen kann. Der Quell wird so weit geleitet, bis man ihn sicher eingefafst hat und man sonach die Schliessung vornehmen kann, ohne ein Durchbrechen des Wassers an einer andern Stelle zu besorgen. Zur Einbringung des Mörtels darf indessen der erwähnte Canal nicht benutzt werden, weil in diesem

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1839. *II. p.* 117.

Falle das Wasser sich nicht zurückdrängen läfst, man mufs vielmehr hierzu eine besondere Oeffnung vorrichten, oder dem Canale noch eine zweite Mündung geben, die am besten nach oben gekehrt ist, wobei aber scharfe Biegungen vermieden werden müssen. In die obere Oeffnung setzt man das Gufsrohr von einer Spritze ein. Dieses ist eine ausgebohrte hölzerne Röhre und das Gufsrohr besteht aus Eisenblech. Die lichte Weite der Röhre beträgt etwa 5 Zoll und die des Gufsrohres 2½ Zoll. Letzteres wird sobald es in die aufwärts gerichtete Mündung des zweiten Canales eingestellt ist, mit Werg umwunden, und vollständig abgedichtet, um jeden Seitenausfluſs zu verhindern. Man füllt nunmehr die hölzerne Röhre mit einem zwar dünnen, aber stark hydraulischen Mörtel an. Oft fliefst derselbe schon durch sein eignes Gewicht herab, und füllt den Canal, doch pflegt dieses nur im Anfange zu geschehn, und bald müssen noch besondre Mittel angewendet werden, um ihn herabzutreiben. Dieses geschieht, nachdem die Röhre ganz angefüllt ist, indem man einen Pfropfen aus aufgelöstem Tauwerk bildet und denselben darauf setzt, worüber alsdann eine Kolbenstange kommt, die sich in der hölzernen Röhre ohne Widerstand hin- und herbewegen läfst. Diese Stange drückt man mit Gewalt hinein, und wenn der todte Druck sie nicht mehr bewegt, so treibt man sie mit Schlägeln oder auch wohl mit einer Handramme herab, bis der in der Röhre befindliche Mörtel in den Canal gedrungen ist. Hierbei mufs man aber aufmerksam sein, dafs der Mörtel nicht etwa durch den Pfropf oder zur Seite desselben rückwärts herausquillt, weil er sonst das spätere Herausziehn des Pfropfes sehr erschweren und das Ausheben der Pumpe zu diesem Zwecke nöthig machen würde. Das Letzte ist besonders insofern nachtheilig, als die ganze Operation schnell und ohne Unterbrechung ausgeführt werden mufs, damit der Mörtel nicht etwa schon erhärtet, während man ihn noch weiter treiben will. Bemerkt man also, dafs der Pfropf nicht dicht schliefst, so mufs man sogleich die Kolbenstange herausnehmen und eine zweite Lage Werg über die erste legen. Sobald die Kolbenstange soweit herabgetrieben ist, dafs man annehmen darf, die Röhre sei entleert, so zieht man sie heraus und fafst mit einem Krätzer den Pfropfen, der gleichfalls entfernt wird. Alsdann füllt man die Röhre wieder mit Mörtel und wiederholt dieselbe Operation. Dieses geschieht so lange, bis der Mörtel in zusammenhängender Masse aus der untern Oeff-

nung des Canales hervortritt, oder wenn man wegen des hohen Wasserstandes in der Baugrube sich hiervon nicht unmittelbar überzeugen kann, bis die eingespritzte Quantität Mörtel überreichlich genügt, um den ganzen Inhalt des Canales zu füllen.

Der Mörtel kann nunmehr von dem Quell nicht sobald durchdrungen werden, weil das Wasser auf eine zu grofse Länge hindurchdringen müfste. Am sichersten ist es, die Operation vorzunehmen, während die Baugrube mit Wasser gefüllt bleibt. Wenn nach einiger Zeit der Mörtel erhärtet ist, so wird durch ihn nicht nur der Wasserlauf vollständig gesperrt, sondern das Mauerwerk ist auch durch den Béton, also eine ähnliche Masse, ersetzt, und der frühere Canal kann kaum noch als eine schwache Stelle angesehn werden, Dieses Verfahren ist so sicher, dafs man bei einiger Uebung und einiger Vorsicht in seinem Gebrauche wegen des Erfolges nicht besorgt sein darf, doch mufs der Canal in seiner ganzen Länge und in beiden Mündungen gehörig geöffnet sein. Wenn dagegen diese Bedingung nicht erfüllt ist, so darf man auch auf einen günstigen Erfolg nicht rechnen. Hieraus erklärt es sich auch, weshalb die Versuche, das Bétonbette selbst durch eingespritzten Mörtel zu dichten, immer erfolglos geblieben sind. *).

Wenn das Bétonbette zu schwach, oder beim Auspumpen noch nicht gehörig erhärtet war, so bricht es der Länge nach auf, und die in dieser Weise entstandene Fuge läfst sich nicht schliefsen. Sie ist freilich ohne wesentlichen Nachtheil, wenn man eine hohe Mauermasse, etwa einen Brückenpfeiler darauf stellen will, wenn aber wie im Schleusenboden nur eine schwache Uebermaurung oder etwa ein umgekehrtes Gewölbe darüber kommt, so pflegt die Fuge sogleich durch dieses sich fortzusetzen und der Boden hebt und senkt sich, jenachdem die Baugrube ausgepumpt wird, oder sich mit Wasser füllt. Bei einer Schleuse an der Ruhr war diese Bewegung sehr deutlich zu erkennen, indem die Oberkanten der Bétonfangedämme

---

*) In den *Annales des ponts et chaussées* befinden sich über diesen Gegenstand mehrere Aufsätze, die vorstehende Beschreibung des Verfahrens verdanke ich jedoch der sehr gefälligen mündlichen Mittheilung des rühmlichst bekannten Ingenieur Mary, der ähnliche Arbeiten vielfach geleitet hat, und im Jahre 1840 unter Vorzeigung der betreffenden Pumpen mich damit bekannt machte.

dete. Der untere Durchmesser desselben hielt nahe 24 Fuſs, der obere 36 Fuſs, und die Höhe maaſs 30 Fuſs. Hierin wurde Wasser gepumpt, und dadurch eine Belastung von mehr als 10 000 Centner dargestellt. Einige Senkung wurde nunmehr jedesmal bemerkt, doch war dieselbe meist sehr unbedeutend, und hörte bald ganz auf.

Nachdem die Kasten als feststehend angesehn werden konnten, wurden sie mit Béton gefüllt und übermauert, wie die Figuren in den verschiedenen Schnitten zeigen. Der freie Raum zwischen je zwei Kasten wurde aber mit einer $2\frac{1}{4}$ Fuſs starken Kappe aus Klinkern überspannt. Auf diesen Kappen, so wie auf der Uebermauerung der Kasten steht zunächst die eigentliche Kaimauer, die sich bis 14 Fuſs 7 Zoll über Niedrig-Wasser erhebt, auſserdem eine zweite Mauer, welche die hintere Schiene des Geleises für die Dampfkrahne trägt. Beide sind durch massive Pfeiler verbunden, die sehr kräftige Contreforts bilden. Die freien Räume zwischen je zwei Kasten hat man aber rückwärts durch Spundwände geschlossen, um das Ausspülen der Hinterfüllungs-Erde zu verhindern, während vor den Spundwänden auf die Länge der Senkkasten sich eine hinreichend flache Böschung bis zur Sohle des Hafens bildet. Die Durchschnitte *e* und *f* zeigen diese Mauern, wie die Spundwand.

Schlieſslich muſs noch von den eisernen Senkkasten die Rede sein, die man in neurer Zeit hin und wieder bei Fundirungen in tiefem Wasser benutzt hat, und die auf weichem Untergrunde manche Vortheile bieten.

Beim Bau der Eisenbahn-Brücke über die Marne bei Nogent kam es darauf an, den Mittelpfeiler in dem sehr beweglichen Fluſsbette zu fundiren, da groſse Vertiefungen zu besorgen waren. Beim gewöhnlichen Sommer-Wasserstande maaſs die Tiefe an dieser Stelle nahe 13 Fuſs, und die Sohle bestand bis 3 Fuſs darunter aus losem Sande, und auf weitere 4 Fuſs aus einem Gemenge von Sand und Thon, worunter sich erst Kies vorfand, den man als festen Baugrund ansehn konnte. Die Fundirung muſste also bis 20 Fuſs unter Wasser herabgeführt werden. Der Ingenieur Pluyette, der diesen Bau ausführte, entschloſs sich daher einen sowol oben, wie unten offenen Kasten aus Eisenblech anzuwenden. Er gab demselben solche Dimensionen, daſs rings um den über Wasser vortretenden Brückenpfeiler ein Raum von $6\frac{1}{4}$ Fuſs Breite frei blieb. Unten war der Kasten weiter, als oben, so daſs er eine pyramidale

Gestalt hatte. Die horizontalen Querschnitte bildeten in den mittleren Theilen Rechtecke, und waren durch Halbkreise an beiden Seiten begrenzt. Die ganze Länge maafs oben 69 Fufs und unten 73 Fufs, die Breite dagegen oben 32 Fufs und unten 36 Fufs. Die ganze Höhe betrug nahe 29 Fufs, so dafs der Kasten, wenn er 1 Fufs tief in den Kies versenkt wurde, noch 8 Fufs den Sommer-Wasserstand überragte.

Die Blechstärken waren nach dem Drucke, dem die Schichten ausgesetzt werden sollten, verschieden angenommen, und aufserdem durften sie an den abgerundeten Enden schwächer sein, als in den mittleren Theilen. Sie maafsen in der untern 9½ Fufs hohen Zone, die den Béton umschliefsen sollte und daher nur geringem Drucke ausgesetzt wurde, beziehungsweise 1,8 und 2 Linien. In der zweiten 11 Fufs hohen Zone, die nach dem Versenken des Bétons den vollen Wasserdruck auszuhalten hatte, da sie erst später ausgemauert wurde, 3,7 und 4,6 Linien. Die obere Zone endlich, die nur bei höheren Wasserständen als Fangedamm dienen sollte, bestand aus Blechen von derselben Stärke, wie die untere. Mit Einschlufs der Anker, die im mittleren Theile die gegenüber stehenden Wände gegen einander verstrebten, wog der Kasten 1400 Centner.

Nachdem das Flufsbette durch Baggern bis zur Kieslage vertieft war, führte man, zwischen zwei Fahrzeugen schwebend den Kasten darüber und versenkte ihn mittelst Schrauben. Sodann wurde der Schlamm, der auf der Sohle sich inzwischen abgesetzt hatte, durch Handbagger im Innern entfernt, auch dabei wieder für eine gleichmäfsige Einsenkung gesorgt, und nunmehr der Béton eingebracht. Nach Erhärtung desselben pumpte man den Kasten leer und führte die Ausmaurung und den untern Theil des Pfeilers aus. Schliefslich beseitigte man den über das Sommerwasser vortretenden Theil des Kastens, indem die Verbindung hier nicht durch Niethe, sondern durch Schraubenbolzen dargestellt war*).

Gegen dieses Verfahren sprach sich Beaudemoulin sehr entschieden aus**), indem er meinte, die Umschliefsung mit hölzernen Wänden und die Darstellung von Béton-Fangedämmen wäre nicht nur sicherer, sondern auch wohlfeiler gewesen. Die für die grös-

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1856. *II. pag.* 282.

**) *Annales des ponts et chaussées.* 1857. *II. pag.* 238.

sere Sicherheit angeführten Gründe dürften indessen zweifelhaft sein, und sonach begründet sich auch kaum die Voraussetzung in Betreff der geringeren Kosten.

Eben so, wie diese Blechkasten, hat man in den Niederlanden zu gleichem Zweck auch Kasten angewendet, die aus gufseisernen Tafeln zusammengesetzt waren. In einem Falle traten dabei sehr bedenkliche Beschädigungen ein, die vorzugsweise wohl durch die zu grofsen Dimensionen veranlafst waren, während auch die eigenthümliche Beschaffenheit des Untergrundes den Bau aufserordentlich erschwerte *).

Die Eisenbahn zwischen Alkmar und Nieuwe-Diep überschneidet zweimal den Nordholländischen Canal und mufste, um den Durchgang grofser Seeschiffe zu ermöglichen, auf Drehbrücken darüber geführt werden. Zu diesem Zwecke kam es darauf an, aufser den beiden Landpfeilern, jedesmal noch einen Pfeiler, auf dem die Drehbrücke ruht, und einen der theils diese unterstützt, wenn sie geschlossen ist, und theils die feste Brücke trägt, auszuführen. Durch die Drehbrücken wurden je zwei Oeffnungen von 64 und 32 Fufs lichter Weite überspannt, und sie stand auf einem cylindrischen Pfeiler von 19 Fufs Durchmesser. Der andre Pfeiler war 22 Fufs lang und 9¼ Fufs breit. Beide sollten in versenkten eisernen Kasten fundirt werden, jedoch war es ursprünglich Absicht gewesen, die langen Pfeiler auf je zwei Cylinder von 9¼ Fufs Durchmesser zu stellen und diese über Wasser durch vertikale Eisenplatten mit einander zu verbinden. Der Bau-Unternehmer glaubte jedoch, die Ausführung würde sicherer und bequemer sein, wenn er Kasten anwendete, die der Ausdehnung dieser Pfeiler entsprächen und bei der Länge von 22 Fufs und der Breite von 11 Fufs, an beiden Enden abgerundet wären. Die Genehmigung zu dieser Aenderung wurde ertheilt.

Was die Höhenverhältnisse betrifft, so wird der Wasserspiegel in dieser Canalstrecke auf ungefähr 2 Fufs unter Amsterdamer Peil, d. h. unter mittlerem Hochwasser in Amsterdam gehalten. Die Sohle des Canales liegt 20 Fufs unter diesem Normal-Horizont, oder die Wassertiefe mifst 18 Fufs, und die eisernen Kasten sollten noch 19¼ Fufs tiefer versenkt werden. Indem diese während des

*) *Verhandelingen van het koninklijk Instituut van Ingenieurs.* 1868—1869.

Baues bis Amsterdamer Peil heraufreichen sollten, so betrug ihre ganze Höhe 39½ Fuſs.

Die Kasten bestanden aus guſseisernen Platten von 1 Zoll Stärke, nahe 5 Fuſs Höhe und durchschnittlich etwa 6 Fuſs Breite. Sie waren an den Seiten, wie auch oben und unten mit Flanschen versehn und wurden durch Schraubenbolzen so mit einander verbunden, daſs sie Ringe bildeten, bei deren Zusammenstellung die vertikalen Fugen versetzt waren.

An starke hölzerne Rüstungen hing man zunächst diejenigen Platten auf, welche den untersten Ring bilden sollten, und verband sie mit einander. Darüber stellte man den folgenden Ring und so fort, indem man den bereits verbundenen Kasten stets so weit versenkte, daſs sein oberer Rand noch über Wasser blieb. Die Kasten hingen dabei beständig an 9 oder 12 starken eisernen Schrauben, woran man sie gleichmäſsig herablassen konnte. Diese Vorsicht wurde auch fortgesetzt, nachdem die Kasten sich bereits auf die Sohle aufgestellt hatten.

Bei der zuerst ausgeführten Brücke auf dem Koegras, eine Stunde von Nieuwe-Diep entfernt, erfolgte die Aufstellung und Versenkung bis zur beabsichtigten Tiefe sehr regelmäſsig und ohne Unfall. Sobald sie die Sohle des Canals erreicht hatten, stellte man eine Baggermaschine mit lothrechter Eimerleiter auf jeden Kasten, und in dem Maaſse, wie dieselbe den feinen und ziemlich locker abgelagerten Sand aushob, drang der Kasten tiefer in den Grund ein. Sobald dieses geschehn war, ebnete man einigermaassen den Grund, und brachte mittelst halb-cylindrischer Senkkasten Béton ein, und zwar bis zur Höhe der Canal-Sohle. War diese Bettung etwas erhärtet, so pumpte man den Kasten aus und das Mauerwerk konnte darüber im Trocknen ausgeführt werden. Schlieſslich wurden die Ringe, die sich über das volle Mauerwerk erhoben, einer nach dem andern gelöst, indem man mittelst besonderer Schraubenschlüssel die Muttern über den horizontalen Fugen unter Wasser faſste und zurückdrehte. Dabei wäre nur zu erwähnen, daſs schon auf dieser Baustelle während des Baggerns das Wasser in den Kasten meist etwas höher, als im Canale stand.

Viel gröſseren Schwierigkeiten begegnete man beim Bau der Brücke neben Alkmar. Der Boden bestand auch hier aus Sand, doch war dieser so fest abgelagert, daſs die Baggereimer nicht ein-

drangen. Man war daher gezwungen, mit zugeschärften Stofseisen den Grund aufzulockern und unter fortwährendem Verschieben des Baggers den so eben gelösten Sand auszuheben. Dabei konnte es natürlich nicht fehlen, dafs der Widerstand an verschiedenen Stellen verschieden war, und der Kasten sich alsdann schräge stellte. Durch kräftiges Baggern neben den höchsten Punkten, und indem man diese noch mit grofsen Gewichten (bis zu 1600 Centner) belastete, gelang es endlich, die Kasten in die richtige Lage zurückzubringen. Bei dem längeren Kasten ereignete es sich sogar, dafs derselbe, nachdem er bereits 9 Fufs tief in den Grund eingedrungen war, sich plötzlich seitwärts verschob. Es blieb nur übrig, an einer Seite von innen, und an der andern von aufsen zu baggern, um ihn wieder an seine Stelle zu bringen. Dabei traten häufig die Senkungen plötzlich und so heftig ein, dafs sie mit starken Stöfsen verbunden waren.

Bei dieser mühsamen Arbeit war es endlich gelungen, den langen Kasten bis auf 11½ Fufs unter die Canal-Sohle zu versenken. Man hatte so eben einen neuen Kranz von Platten aufgesetzt, auch darüber eine starke Belastung gebracht und begann das Baggern aufs Neue, als plötzlich das Wasser in dem Kasten anschwoll und den 6 Fufs über dem äufsern Wasserspiegel liegenden Rand mit Heftigkeit überströmte. Der Kasten stürzte dabei 5 Zoll tief herab, und hierbei zerbrach er, so dafs an der einen schmalen Seite, nahe im Scheitel der Verbindungs-Curve ein Rifs sich auf 13½ Zoll öffnete, während gegenüber nur eine feine Bruchfuge entstand. Nachdem das Ausströmen des Wassers aufgehört, bemerkte man, dafs der Kasten sich nahe 13 Fufs hoch mit Sand gefüllt hatte, während das nächste Canal-Ufer eingestürzt war. Man fand auch einen durch die ganze Länge des Kastens hindurchgehenden Bruch in der einen Seitenwand, der von 18 bis auf 15 Fufs unter dem Wasserspiegel anstieg.

Veranlassung zu der höchst auffallenden Erscheinung, dafs das Wasser sich plötzlich so hoch in dem Kasten erhob, und bei der heftigen Einströmung so viel Sand hineintrieb, konnte nur sein, dafs man eine wasserführende Schicht eröffnet hatte, welche von einem bedeutend höher liegenden Terrain gespeist wurde. Der starke Zuflufs hörte indessen angeblich nach 5 Minuten auf, vielleicht weil bei der eintretenden Bewegung der Druck so schnell abnahm, wie man dieses auch bei springenden Strahlen bemerkt (vergl. §. 16).

Wahrscheinlich verhinderte auch der eingedrungene Sand das fernere starke Zuströmen des Wassers.

Man betrachtete es als einen besonders günstigen Umstand, dafs der ganze Kasten noch in den Schrauben hing, und sonach das abgebrochene Stück nicht herabstürzen konnte. Jedenfalls mufste die Brücke an dieser Stelle ausgeführt werden, da die Eisenbahn wegen der Nähe von Alkmar sich nicht verlegen liefs, das Ausheben des Kastens, also die Ersetzung desselben durch einen neuen war aber unmöglich. Es blieb sonach nur übrig, die getrennten Theile so gut es geschehn konnte, zu vereinigen und in demselben Kasten den Brückenpfeiler aufzuführen.

Die Baggermaschine wurde wieder in Gang gesetzt und der eingedrungene Sand, soweit thunlich beseitigt. Alsdann hob man das abgebrochene Stück etwas an und näherte es durch umgeschlungene Ketten und durch Ziehbänder soweit dem andern Theile, dafs jene Fuge im obern Rande nur noch etwa 5 Linien geöffnet blieb. Von jedem Versuche, den Kasten noch weiter zu versenken, mufste man absehn, doch gewann man eben wegen der festen Schichten, die so schwer zu durchbrechen gewesen waren, die Ueberzeugung, dafs es unnöthig sei, den Kasten bis zu der früher beabsichtigten Tiefe, woran noch 8 Fufs fehlten, herabzutreiben.

Die Baggerung wurde nunmehr bis nahe an den untern Rand des Kastens fortgesetzt, alsdann die Füllung mit Béton sogleich begonnen und diese 3 Fufs höher, als es im ursprünglichen Plane lag, heraufgeführt, um jene horizontale Fuge vollständig zu überdecken. Zum Sperren der vertikalen Fugen umgab man den Kasten mit getheerter Leinwand, worauf die Pumpen so weit das Wasser wältigten, dafs die Uebermaurung möglich wurde. Der gröfsern Sicherheit wegen niethete man über die Bruchstellen auf beiden Seiten noch Laschen auf und um wegen der geringeren Tiefe der Fundirung einer Unterspülung vorzubeugen, baggerte man rings um den Kasten einen Graben, durchschnittlich von 40 Quadratfufs Querschnitt und füllte diesen bis zur Canal-Sohle mit Béton an. Man bemerkte, dafs die Sandmasse, die man im Ganzen aus diesem Kasten gebaggert hatte, ungefähr das Fünffache vom Inhalt desselben maafs.

Die Versenkung des cylindrischen Kastens für den Drehpfeiler erfolgte darauf ohne einen ähnlichen Unfall, doch scheint man auch

hier nicht bis zu der früher beabsichtigten Tiefe herabgegangen zu sein, auch wurde eine Lage Basalte zur Verhinderung einer Unterspülung umher versenkt.

Bei der Probe-Belastung der Brücke mit 4000 Centnern, so wie auch während des dreijährigen Bahnbetriebes haben diese beiden Pfeiler keine Sackung und überhaupt keine Bewegung bemerken lassen.

§. 50.
Fundirung unter Luftdruck.

Man hatte bereits vielfach und namentlich bei Erbauung von Hafendämmen die Taucherglocke in großer Tiefe unter Wasser benutzt, um theils Werkstücke regelmäßig zu versetzen, theils aber auch um andres Mauerwerk auszuführen, oder um den Grund zu reinigen und dergleichen. Diese Anwendung des Luftdrucks blieb jedoch räumlich immer nur sehr beschränkt, und erst in den letzten Jahrzehenden hat man mit überaus günstigem Erfolge, sowol weite Röhren als auch ganze Fundamente von Brückenpfeilern durch Benutzung der comprimirten Luft bis zu bedeutender Tiefe unter Wasser versenkt, und diese Methode hat sich sowol durch ihre Sicherheit, als auch durch ihre Wohlfeilheit so sehr empfohlen, daß sie gegenwärtig fast bei allen Ueberbrückungen großer und tiefer Ströme Anwendung findet. Man hat indessen auf zwei ganz entgegengesetzte Arten den Luftdruck benutzt, doch ist man von der Methode, die man Anfangs befolgte, und die unter gewissen Verhältnissen sich schon sehr brauchbar erwies, gegenwärtig zurückgekommen, während die andre allgemeinen Eingang gefunden hat.

Zunächst mag die erste kurz berührt werden. Im Jahre 1843 nahm Dr. Pott in England ein Patent auf die Erfindung, Pfähle durch Luftdruck in den Grund zu treiben. Diese Pfähle sollten aus hohlen eisernen Röhren bestehn, die unten offen sind, oben dagegen durch Klappen luftdicht geschlossen werden können. Nachdem sie durch ihr eignes Gewicht sich etwas in den Boden eingedrückt haben, schließt man diese Klappe und pumpt den innern Raum nahe luftleer. Alsdann wird der Pfahl vom Druck der

äufsern Luft belastet und dringt noch etwas tiefer ein, doch wäre dieser Erfolg von wenig Bedeutung, wenn nicht das aus dem Boden in den Pfahl tretende Wasser den Sand oder die Erde auflockerte, und hierdurch das weitere Herabsinken veranlafste. Der Pfahl füllt sich hierbei aber nicht nur mit Wasser, sondern zum Theil auch mit Erde an. Alsdann läfst man die Luft wieder eintreten, öffnet die Klappe, pumpt das Wasser aus und beseitigt zugleich die eingedrungene Erde, worauf man wieder die Klappe schliefst und die Luftpumpe in Bewegung setzt. Der Untergrund wird nunmehr aufs Neue gelockert und der Pfahl sinkt tiefer ein und so fort, bis er endlich die beabsichtigte Tiefe erreicht hat.

Wenn der Boden fester ist und durch eine schwache Strömung nicht gelockert wird, so läfst sich durch dieses einfachste Verfahren das gehörige Eindringen des Pfahles nicht bewirken, und man mufs alsdannn eine kräftigere Strömung veranlassen. Dieses geschieht, wenn man die Luftpumpe nicht unmittelbar mit dem von der Röhre umschlossenen Raum in Verbindung setzt, der nur nach und nach entleert, also auch in gleicher Weise mit Wasser gefüllt wird. Man bringt daher einen grofsen Behälter, gleichsam einen Windkessel an, den man möglichst luftleer macht, und in diesen durch plötzliches Oeffnen eines Hahnes die Luft aus der Röhre einströmen läfst. Dadurch erfolgt die Luft-Verdünnung schneller und in gleichem Maafse verstärkt sich die Einströmung des Wassers, welches den Grund kräftiger angreift.

Aufserdem hat man den Apparat noch in andrer Weise vervollständigt. Der in den Pfahl eindringende Boden lagert sich nämlich in demselben oft so fest ab, dafs seine Beseitigung schwierig wird, die aber nothwendig ist, weil entgegengesetzten Falles beim folgenden Auspumpen die Wirkung um so schwächer werden würde. Man stellt daher eine zweite, jedoch viel engere Röhre, die unten mit einem nach oben aufschlagenden Ventil versehn ist, in den Pfahl, und nachdem letzterer sich gefüllt hat und die Luft wieder eingetreten ist, setzt man den von der Luftpumpe ausgehenden Schlauch mit dieser engeren Röhre in Verbindung. Dieselbe füllt sich alsdann mit einem Theile von dem Inhalte des Pfahles und lockert zugleich den übrigen Theil auf. Da sie sich aber unten schliefst, so kann man mit ihr nach und nach die ganze Erdmasse ausheben.

Diese Erfindung wurde seit dem Jahre 1845 mehrfach, und zum Theil mit günstigem Erfolge angewendet *), besonders verdient der Bau eines Viaductes auf der Insel Anglesea Erwähnung. Jeder Pfeiler wurde dabei auf neunzehn gufseiserne Pfähle von 13½ Zoll äufserm Durchmesser und 15½ Fufs Länge gestellt, die in den Wänden 17 Linien stark waren. Das Versenken derselben erfolgte in der beschriebenen Art sehr schnell, mitunter sogar 2 Fufs tief in einer Minute. Nachdem die Pfähle bis zur beabsichtigten Tiefe von 12 Fufs in den Grund eingedrungen waren, und man den darin eingetretenen Sand ausgehoben hatte, füllte man sie mit Béton an. Sie bildeten einen sehr festen Pfahlrost und die darauf gestellten Pfeiler liefsen selbst beim Uebergange der schwersten Eisenbahn-Züge keine Bewegung bemerken.

Es dürfte hier die passendste Stelle sein, einer andern in neuester Zeit versuchten Methode zum Eintreiben gufseiserner Pfähle Erwähnung zu thun, die auf demselben Princip, nämlich auf der Auflockerung des Bodens beruht, obgleich der Luftdruck dabei nicht in Anwendung kommt. Dieses Verfahren ist in der That sehr einfach. Nachdem der hohle eiserne Pfahl an der Rüstung so befestigt ist, dafs er frei herabsinken, jedoch sich nicht seitwärts überneigen kann, so führt man bis nahe über dem untern Rande den Schlauch einer Feuerspritze herab, der mit zwei Ausgufsröhren nach entgegengesetzten Seiten versehn ist. Sobald die Spritze in Thätigkeit gesetzt wird und die starken Strahlen gegen den Boden unter der Röhrenwand gerichtet werden, so lockern sie diesen auf. Man dreht aber an einem Hebel den Pfahl, und verbreitet dadurch die Auflockerung rings umher. Das hindurchströmende Wasser findet den bequemsten Ausweg unmittelbar an der äufsern Wandfläche des Pfahles, wodurch hier in hohem Grade die Reibung gemäfsigt wird, und der Pfahl bald die erforderliche Tiefe erreicht. Die Bewegung mufs aber ohne Unterbrechung fortgesetzt werden, weil sonst die äufsere Erde nachstürzt, und alsdann der Pfahl sich so fest stellt, dafs man ihn weder heben, noch tiefer senken kann. Bei Fundirung des Leven-Viaductes in der Morecombe-Bai drangen die Pfähle in dieser Art jedesmal während 20 bis 30 Minuten 19 Fufs

*) Mittheilungen hierüber befinden sich in Förster's allgemeiner Bauzeitung. 1858. Seite 189.

tief ein. Bei der Kaimauer in Southport brachte man aber die Aenderung an, dafs man die untern Oeffnungen der Röhren durch Scheiben schlofs, die in ihrem Umfange mit sägeförmigen Zähnen versehn waren, welche vor die äufsere Wandung vortraten. In der Mitte der Scheibe war aber das Ausgufsrohr des Schlauches hindurchgeführt. Gewifs wird man von dieser Methode nur unter besonders günstigen Boden-Verhältnissen Gebrauch machen können, obwohl sie vielleicht vor der Anwendung der Luftverdünnung noch Vorzüge hat.

Mittelst der beschriebenen Luftverdünnung sollte 1851 die Fundirung der beiden Mittel- und der beiden Landpfeiler der Brücke bei Rochester über den Medway zur Ausführung kommen, und zwar wollte man unter jeden Mittelpfeiler vierzehn gufseiserne Röhren von 6 Fufs Weite stellen, deren einzelne Theile durch Flanschen im Innern verbunden waren. Nach vorgängiger Untersuchung des Baugrundes erwartete man, dafs die Versenkung derselben bis 20 Fufs unter die Sohle des Flufsbettes ohne Schwierigkeit möglich sein werde. Hierin hatte man sich indessen getäuscht. Der Boden war so compact, dafs das Wasser nur spärlich durch denselben in die Röhren eindrang und sonach die Auflockerung nicht erfolgte und die Pfähle sich nicht senkten. Dazu kam noch, dafs unter dem einen Landpfeiler vielfach Steine und Holzstämme sich vorfanden, die vollends die beabsichtigte Fundirungs-Art unmöglich machten.

Der Ingenieur Cubitt, der die Arbeiten leitete, entschlofs sich daher zu einem ganz entgegengesetzten Verfahren, nämlich die Räume in den Pfählen nicht luftleer zu machen, sondern die Luft darin so stark zu comprimiren, dafs das Wasser daraus zurückgedrängt würde, und der Boden ausgegraben werden könnte. Das Verfahren war sonach dasselbe, von dem Triger schon 1840 Gebrauch gemacht hatte, um einen Schacht bis zum Kohlenflötz abzuteufen, das einige sechszig Fufs unter dem Niveau der Loire bei Haie-Longue lag. Dabei wurde damals eine 5 Fufs 9 Zoll weite Blechröhre angewendet, die oben mit einer Luftschleuse versehn war (§ 8). Cubitt benutzte dagegen die bereits vorhandenen gufseisernen Röhren.

Er brachte an dem obern Ende jeder derselben je zwei kleine Luftschleusen an, die noch nicht 5 Quadratfufs in ihrer Grundfläche hielten, oben mit den Einsteige-Oeffnungen und zur Seite mit Thüren versehn waren. Zwischen beiden befand sich ein Krahn, mittelst

dessen man den mit Erde gefüllten Kübel aus der Tiefe heben und zugleich in eine der beiden Schleusen stellen konnte. *)

Sowol die Klappen, welche die Einsteige-Oeffnungen schliefsen, wie auch die Thüren öffneten sich nach innen und wurden durch den Luftdruck geschlossen erhalten. In Abständen von 9 Fufs unter einander, nämlich jedesmal auf den Flanschen der Röhren befanden sich Böden, die durch Leitern mit einander verbunden waren.

Die Operation war einfach diese, dafs mittelst einer Dampfmaschine Luft in die Röhre gepumpt und hier so stark comprimirt wurde, dafs sie das Wasser vom Eindringen durch die untere Oeffnung abhielt und es zurückdrängte. Auf diese Weise blieb die ganze Röhre wasserfrei, und man konnte den Boden darunter ausgraben und in die Kübel werfen.

Damit aber beim Ausbringen der Kübel aus der Röhre der Luftdruck nicht aufgehoben, sondern nur wenig vermindert würde, so hatte jede Luftschleuse doppelten Verschlufs und wirkte in ähnlicher Art, wie eine Schiffsschleuse. Sollte ein gefüllter Kübel entleert werden, so stellte man durch Oeffnen eines Hahnes die Verbindung der Röhre mit der Schleuse dar, und sobald der Luftdruck sich hier ausgeglichen hatte, öffnete man die Thüre, und schob mittelst des Krahns den Kübel hinein. Man löste die Kette, woran der Kübel hing, schob sie zugleich mit dem Krahne zurück und schlofs die Thüre. Nunmehr öffnete man ein Ventil, wodurch die Luft aus der Schleuse nach aufsen entwich, worauf die obere Klappe von selbst herabfiel, und alsdann wurde der gefüllte Kübel mit einer zweiten Winde durch jene Oeffnung, welche bisher von der Klappe geschlossen war, ausgehoben und verstürzt. Der Kübel konnte hierauf sogleich wieder in die Luftschleuse gestellt, und nachdem diese gegen die äufsere Luft geschlossen und mit der Röhre in Verbindung gesetzt war, bis zum Grunde herabgelassen werden. In gleicher Weise gingen auch die Arbeiter, so oft es nöthig, aus und ein.

Indem der starke Luftdruck gegen den obern Boden aufwärts wirkte, die Röhre auch vollständig leer von Wasser war, so verlor sie so sehr an ihrem Gewichte, dafs ihr weiteres Eindringen verhindert, und sie zuweilen sogar gehoben wurde. Um sie hinreichend zu

*) Wiener Bauzeitung. 1858. Seite 190.

belasten, mufste man zwei Balken darüber legen, an welchen symmetrisch zwei grofse Steinkasten gehängt waren. Es war jedoch zuweilen nöthig, das Gewicht auf einer Seite kräftiger wirken zu lassen, als auf der andern, wenn die Röhre nicht gleichmäfsigen Widerstand fand. Alsdann liefs man den einen Kasten in das Wasser eintauchen, damit er aber von der Strömung nicht in zu heftige Bewegung gesetzt würde, blieb nur übrig, diese beiden cylindrischen Kasten in Blechröhren zu hängen, die auf der Sohle des Flufsbettes aufstanden.

Endlich wäre noch zu erwähnen, dafs bei dem stellenweise sehr festen Grunde zuweilen das darüber angesammelte Wasser durch den starken Luftdruck nicht zurückgedrängt werden konnte. Man brachte daher einen Heber an, dessen längerer Schenkel bis zur Sohle herabreichte, während der kürzere in das äufsere Wasser tauchte. Hierdurch wurde die Entleerung sehr schnell bewirkt, doch mufste man aufmerksam sein, den Hahn sogleich zu schliefsen, sobald der Heber Luft schöpfte. Unterliefs man dieses, so hatte die heftige Ausströmung eine sehr schnelle Verdünnung der Luft zur Folge, die mit einer starken Abkühlung verbunden war. Letztere veranlafste plötzlich die Bildung eines so intensiven Nebels, dafs ohnerachtet der im Schachte brennenden Lampen volle Dunkelheit eintrat.

Indem die Fundirung unter comprimirter Luft bei diesem Versuche sich so bewährt hatte, dafs man dadurch Schwierigkeiten überwand, die in andrer Weise nur mühsamer und mit gröfseren Kosten zu beseitigen gewesen wären, so wurde bald dasselbe Verfahren auch anderweit angewendet. In Frankreich geschah dieses bei verschiedenen Brückenbauten, wie bei Lyon, Moulins und Maçon, die erste und wichtige Anwendung dieser Methode war aber die Fundirung der Brücke über die Theifs bei Szegedin, die im Jahre 1857 durch die französische Eisenbahn-Gesellschaft zur Ausführung kam.

Der Oberbau, von Blech-Bogen getragen, ruht auf sieben Mittel- und zwei Land-Pfeilern. Die Durchflufs-Oeffnungen zwischen ihnen haben sämmtlich gleiche Weite, nämlich von 132 Fufs. Die beiden Landpfeiler, unter denen der Boden hinreichende Festigkeit hatte, sind unmittelbar auf diesem mit verbreiteten Banketen aufgemauert, die Mittelpfeiler dagegen, die durchschnittlich auf 9 Fufs Wassertiefe trafen, und wo der Untergrund zum Theil nur wenig Festigkeit

hatte, mufsten bis 38 Fufs unter das gewöhnliche Sommerwasser herabgeführt werden. Hierbei wurden gufseiserne Säulen angewendet, aus denen man mittelst starken Luftdruckes das Wasser beseitigte und in denen man den Boden ausgrub, wodurch wieder ihre tiefere Einsenkung erfolgte. Jeder Pfeiler bestand aus zwei Säulen, die über Wasser durch eine etwa 5 Fufs hohe Eisenplatte mit einander verbunden waren.

Die gufseisernen Säulen hielten 9½ Fufs im Durchmesser, da man ihnen die möglichste Weite geben wollte, ohne sie aus einzelnen Cylinder-Segmenten zusammensetzen zu dürfen. Ihre Wandstärke maafs 14 Linien. Jeder einzelne Theil war nahe 6 Fufs hoch, und sowol oben, wie unten mit einer nach innen vortretenden Flansche versehn, die durch eine Anzahl angegofsner Consolen verstärkt war, während zwischen je zweien der letzteren ein Schraubenbolzen diesen Theil des Cylinders mit dem anschliefsenden verband.

Die Röhren waren aus Schottland bezogen, doch wurde jede einzelne derselben auf der Baustelle an beiden Seiten abgedreht, so dafs sie nicht nur möglichst schliefsend auf einander pafsten, sondern auch concentrisch verbunden werden konnten. Nachdem sie in dieser Art vorbereitet waren, erfolgte erst das Bohren der Bolzenlöcher. Vor dem Zusammensetzen überstrich man aber die berührenden Flächen mit gewöhnlichem Eisenkitt aus Feilspähnen, Ammoniak und Schwefel-Blumen bestehend, der nach wenig Tagen vollständig erhärtet war, doch ist der Ingenieur Cezanne, der den Bau leitete, der Ansicht, dafs man besser gethan hätte, wie beim Brückenbau zu Bordeaux geschehn, eine Zwischenlage aus Kautschuk zu wählen.

Man war indessen nicht im Stande, die Röhren in ihren ganzen Längen auf dem Ufer zusammenzusetzen, weil sie dadurch zu schwer geworden wären. Sie konnten nur zur Hälfte verbunden werden, und von diesen wurde der untere Theil auf seine Stelle in Fahrzeugen geführt und hier von festen Rüstungen aus gehoben und auf den Grund gestellt. Er hing dabei jedoch in Ketten, bis die Vereinigung mit der andern Hälfte erfolgt war.

Wurden demnächst die Hängeketten gelöst, so drang die Säule sogleich mehrere Fufs tief in den Grund ein, sie mufste dabei aber zwischen den Führungen am Gerüste sehr sicher gehalten werden, damit sie weder sich überneigen, noch auch seitwärts schie-

ben konnte. Durch fremde Belastung bemühte man sich, sie noch möglichst tief herabzudrücken, sobald dieses aber keinen Erfolg mehr hatte, so wurde die Luftschleuse eingesetzt, deren beide Boden man gegen die obern Flanschen befestigte. Beim Einpumpen der Luft mußte die fremde Belastung beibehalten werden, weil die Röhre, sobald das Wasser daraus zurückgetrieben war, weniger wog, als das Wasser welches sie verdrängte. Sobald die Luftpumpe in Bewegung gesetzt war, konnte man zwar die eingedrungene Erde durch die Luftschleuse ausheben, aber die beabsichtigte Senkung unterblieb dennoch entweder ganz, oder trat nur in geringem Maaße ein. Um diese darzustellen, blieb nur übrig, daß man die Arbeiter austreten ließ und den Cylinder mit der äußern Luft in Verbindung setzte. Durch das alsdann eindringende Wasser vergrößerte sich nicht nur sehr bedeutend das Gewicht, sondern bei diesem Einströmen wurde auch der Boden unter dem Cylinder gelockert, so daß oft ein plötzliches Herabsinken um mehrere Fuße erfolgte. Bei thonigem Boden, in welchem die starke Reibung gegen die Seitenwände die Röhre zurückhielt, waren diese heftigen Stöße besonders gefährlich und bedrohten mehrmals die Rüstung, gegen welche die Führung sich lehnte. In Betreff der Versenkung muß noch erwähnt werden, daß man vielfach das eingedrungene Wasser nicht durch den Boden zurücktreiben konnte und man alsdann in eingestellten Hebern dasselbe aufsteigen und über dem äußern Wasserspiegel abfließen ließ.

Aus vorstehender Beschreibung ergiebt sich, daß diese Fundirungs-Art in mehrfacher Beziehung doch bedenklich ist und namentlich dabei besorgt werden muß, daß der Cylinder schließlich gar nicht von einer festen Erdschicht, vielmehr nur von der Reibung und Adhäsion der Seitenwände getragen wird. Letztere kann aber leicht mit der Zeit sich mäßigen, und dadurch würde die Sicherheit des Baues wesentlich gefährdet. Um dieser Besorgniß zu begegnen, wählte man bei Szegedin ein eigenthümliches Mittel. Man rammte nämlich zwölf Pfähle in jeden Cylinder, die etwa 18 Fuß unter den untern Rand desselben herabreichten. Daß der Grund durch sie befestigt wurde, ist um so mehr anzunehmen, da sie außerdem noch den günstigen Erfolg hatten, den ganzen Raum wasserdicht abzuschließen. Nachdem man das Wasser ausgepumpt hatte, schnitt man die Pfähle nahe über dem Grunde ab, und brachte Béton ein,

den man vorsichtig ausbreitete und bis zum obern Rande der Röhren auftrug. Dieser Béton schlofs sich also an die Röhrenwände und namentlich an die Flanschen sehr scharf an, so dafs seine spätere Trennung undenkbar ist, während er selbst auf den Pfählen ruht. Man hatte also eigentlich die gufseiserne Säule auf einen Pfahlrost gestellt.

Bei den mancherlei Zufälligkeiten beim Versenken der Säulen konnte es nicht fehlen, dafs dieselben zuweilen tiefer eindrangen, als man beabsichtigt hatte, alsdann mufsten die Ringe, welche die Capitäle trugen, etwas gröfsere Höhe erhalten. Eine andre Unregelmäfsigkeit, die bei einigen Pfeilern eintrat, liefs sich nicht beseitigen. Es kam nämlich vor, dafs beim Versenken der zweiten Säule, die daneben stehende erste wieder in Bewegung kam, und sich jener näherte. In diesem Falle blieb nur übrig, den Riegel, der beide verbinden sollte, in etwas geringerer Länge umzugiefsen. *)

Die verschiedenen Schwierigkeiten, die bei diesem Bau eintraten, wurden zum Theil durch die Anwendung der gufseisernen Röhren veranlafst, welche eine gröfsere Ausdehnung der Fundamente unmöglich machte. Eine wesentliche Verbesserung der Methode erfolgte daher, als man statt des Gufseisens gewalzte Bleche wählte. Aus solchen liefsen sich nicht nur Kasten darstellen, welche den ganzen Pfeiler umfafsten, sondern die Versenkung derselben war auch sicherer, indem dieses Material weniger der Gefahr des Bruches ausgesetzt ist, wenn vielleicht die Unterstützung nicht gleichmäfsig ist, oder heftige Erschütterungen eintreten. Ueberdiefs hatte die Erfahrung an den Kesseln der Hochdruckmaschinen bereits gezeigt, dafs solche Bleche sich sehr sicher und zugleich luftdicht verbinden lassen. Dazu kommt aber noch, das die auf solche Art construirten Kasten mit horizontalen Decken versehn werden können, über denen schon während des Versenkens die Uebermaurung sich ausführen läfst, wodurch ein so grofses Gewicht dargestellt wird, dafs der Kasten von selbst in dem Maafse tiefer eindringt, wie der Erdboden darin ausgehoben wird.

Die erste und in jeder Beziehung höchst wichtige Fundirung dieser Art geschah beim Bau der Rhein-Brücke zwischen Kehl

*) Vorstehende Mittheilungen sind aus der von Cezanne gegebenen Beschreibung in den *Annales des ponts et chaussées* 1859. *I. p.* 384. entnommen.

und Strasburg im Jahre 1859. Wenn man in neuster Zeit auch manche Modificationen eingeführt hat, so sind doch viele Anordnungen, die damals getroffen wurden, ungeändert beibehalten, und gewiſs ist nicht in Abrede zu stellen, daſs das ganze Verfahren sowol im Allgemeinen, wie in allen Einzelheiten mit groſser Ueberlegung und Sachkenntniſs erdacht war und zur Ausführung gebracht wurde. Die Ingenieure Vuignier und Fleur-Saint-Denis entwarfen die Projecte, doch scheint der Bauunternehmer Castor dabei wesentlich betheiligt gewesen zu sein, wenigstens erstattete die Gesellschaft zur Beförderung der National-Industrie in Paris ihm ihren Dank für den Eifer und die Sachkenntniſs womit er diese wichtige Ausführung ermöglicht habe. Eine nähere Beschreibung der hierbei gewählten Einrichtungen dürfte daher sich rechtfertigen. *)

Zur Verbindung der beiderseitigen Eisenbahnen sollte zwischen Strasburg und Kehl eine Brücke erbaut werden, die zwei Geleise und zwei Fuſspfade enthielt. Ihre ganze Länge zwischen den Landpfeilern war auf 718 Fuſs festgestellt. Die drei mittleren Oeffnungen durch feste Gitter überspannt, waren je 178 Fuſs weit und die zwei Oeffnungen an beiden Ufern, über welche Drehbrücken führten, jede 83 Fuſs. Man hatte sich dahin geeinigt, daſs die französische Regierung den Bau der sämmtlichen Pfeiler mit Einschluſs der Fundirung derselben, die Badensche Regierung dagegen die Darstellung des Oberbaues übernehmen solle.

Das Strombette besteht bis zu groſser Tiefe aus Kies, der jedoch von der starken Strömung fortwährend in Bewegung erhalten wird, so daſs man beim Fahren in kleinen Nachen und wenn mit dem Rudern inne gehalten wird, das Rollen des Kieses deutlich hören kann. Diese Stromstrecke befindet sich übrigens noch in sehr ungeregeltem Zustande, woher vielfach hohe Bänke mit groſsen Tiefen wechseln, doch bleiben beide keineswegs dauernd an ihren Stellen, vielmehr verändert sich häufig, und namentlich zur Zeit der oft wiederkehrenden Anschwellungen, das Bette so vollständig, daſs nicht selten nach Ablauf des Hochwassers Tiefen von 20 bis 30 Fuſs

*) Sehr wichtig sind die Mittheilungen von Schwedler und Hipp in Erbkam's Zeitschrift für Bauwesen 1860. Seite 182, und eben so auch die Beschreibung, die Castor selbst unter Beifügung sehr schöner Zeichnungen in dem Werke: *Travaux de navigation et de chemins de fer*, Paris 1861, veröffentlicht hat.

sich da vorfinden, wo kurz vorher die Kiesbank über Wasser lag. Unter diesen Umständen war eine sehr tiefe Fundirung der Pfeiler dringend geboten, und man entschloſs sich, damit bis 64 Fuſs unter den gewöhnlichen Sommer-Wasserstand herabzugehn. Bei Anwendung der comprimirten Luft hatte man also in den Räumen, aus welchen das Wasser zurückgedrängt werden sollte, schlieſslich einen Ueberdruck von zwei Atmosphären darzustellen, der sich aber noch verstärkte, wenn zufällig gerade höherer Wasserstand eintrat.

Bei Ausführung dieser Fundirung wählte man ein Verfahren, welches von der bisherigen Methode zum Versenken von Röhren unter starkem Luftdrucke wesentlich verschieden war, wovon man jedoch später wieder abgegangen ist, wiewohl es in gewisser Beziehung vortheilhaft erscheint. Man hat nämlich den ganzen eisernen Kasten, oder den Luftkasten, der den untern Theil des Pfeilers bildet, mit comprimirter Luft erfüllt, und man ist alsdann gezwungen nicht nur die aus- und eingehenden Arbeiter nebst den Geräthen und Mauer-Materialien jedesmal die Luftschleuse passiren zu lassen, sondern man muſs auch die groſsen Massen des aus dem Fluſsbette ausgehobenen Materials in gleicher Weise herausschaffen. Letzteres wurde dagegen bei der hier gewählten Anordnung dadurch umgangen, daſs in jedem Kasten sich eine weite eiserne Röhre befand, die oben und unten offen war, worin sich also der äuſsere Wasserstand darstellte, und worin man Baggermaschinen mit vertikalen Leitern einhing, die unmittelbar von der Sohle des Bettes das Material lösten, und ohne Vermittelung einer Luftschleuse es direct so hoch hoben, daſs es von selbst in die zur Abfuhr bestimmten Prahme stürzte. Der Vortheil, den man dabei erreichte, bestand darin, daſs die Baggermaschine durch Dampfkraft bewegt und in ununterbrochenem Betriebe erhalten werden konnte, während man sonst den Boden abgraben, in Eimern bis in die Luftschleuse durch Menschenkraft heben, und nachdem der äuſsere Luftdruck in der Schleuse dargestellt ist, ihn von hier weiter fördern muſs. Fig. 270 *a* und *b* auf Taf. XXII zeigt diese Anordnung. Rings um jene Röhre in dem Kasten ist die Luft in angemeſsner Weise comprimirt. Hier stehn die Arbeiter und stürzen den gelösten Boden in die Vertiefung unter der Röhre, von wo der Bagger ihn weiter fördert. Das Wasser in der untern Mündung der Röhre bildet aber den luftdichten Schluſs derselben.

In einer andern Beziehung hatte man die Vorsicht weiter getrieben, als es nöthig war, wie man schon bei der Fundirung des ersten Pfeilers bemerkte. Die Fundamente der beiden äufsern Pfeiler sollten 74 Fufs lang und 22¼ Fufs breit sein. Man wagte aber nicht Kasten von diesen Dimensionen, die nahe 11 Fufs hoch sein sollten, im Zusammenhange darzustellen, und zerlegte sie daher in je vier besondere Kasten, von denen jeder bei gleicher Breite und Höhe nur 18½ Fufs lang war, also nicht nur an beiden Seiten mit Wänden, sondern aufserdem auch mit einem besondern Brunnen für den Bagger und mit je zwei Einsteigeschächten versehn sein mufste. Als man indessen diese Kasten zur Fundirung des ersten Pfeilers zusammensetzte, verband man sie schon durch einige Bolzen, die man später entfernen wollte, um sie einzeln zu versenken. Man liefs indessen diese leichte Verbindung beim ersten Herablassen noch bestehn, und fand auch später keine Veranlassung sie zu beseitigen, woher man für die folgenden Pfeiler eine solidere Verbindung darstellte, und aufserdem auch, wie Figur *a* zeigt, in die Zwischenwände weite kreisrunde Oeffnungen einzuschneiden wagte, wodurch es möglich wurde, die Vertiefungen in der ganzen Ausdehnung des Pfeilers möglichst gleichmäfsig eintreten zu lassen, und sonach den ganzen Kasten gegen Durchbiegen oder Brechen um so mehr zu sichern.

Die Construction der Luftkasten ergiebt sich im Allgemeinen aus den Figuren. Starke Träger aus halbzölligem Eisenblech ziehn sich in beiden Richtungen unter den Decken hin und werden seitwärts von eben so starken eisernen Winkel-Bändern oder Consolen getragen, die zugleich wesentlich zur Absteifung der Seitenwände dienen. Die Blechstärke der letztern mifst nahe 4 Linien und die der Decken 6 Linien.

Rings um jeden Brückenpfeiler war eine hohe Rüstung auf eingerammten Pfählen erbaut, die zwei Böden über einander trug, von denen der untere etwa 9 Fufs, der obere aber 27 Fufs über dem mittleren Wasserstande lag. Darüber befand sich eine Ueberdachung, damit unter allen Witterungs-Verhältnissen die Fundirung ohne Störung fortgesetzt werden konnte. Der untere Boden war über dem Pfeiler offen. Auf dem obern lagen zu beiden Seiten der Oeffnung starke Schienen, auf welchen ein Laufkrahn stand, mittelst dessen man sowol die Theile der Kasten, als auch die Mauermaterialien an jede beliebige Stelle niederlassen konnte. Nachdem in

dem untern Boden die Oeffnung durch übergelegte Balken überspannt war, wurden hier die vier Kasten zuerst einzeln zusammen geniethet und alsdann unter sich verbunden, sodann aber mittelst der Schrauben, die vom obern Boden getragen wurden, etwas angehoben. Hierauf konnten jene Balken zurückgezogen, und der ganze Kasten beliebig tief herabgelassen werden.

In der Decke jedes Kastens befanden sich, wie der Grundrifs Fig. 270 *c* zeigt, drei Oeffnungen. Die mittlere ist für den offenen Förderschacht bestimmt, der bis unter den untern Rand des Kastens herabreicht, und worin die Baggermaschine hängt. Die beiden andern dienen zur Verbindung mit den Einsteigeschachten, die mit Luftschleusen versehn sind. Zwei solcher Schachte waren nothwendig, wenn keine Unterbrechung eintreten sollte, sobald beim tiefern Einsenken ihre weitere Erhöhung nothwendig wurde. Man hat diese Schachte daher nicht gleichzeitig, sondern abwechselnd gebraucht. Dafs die drei aus Eisenblech bestehenden Schachte luftdicht mit der Decke des Kastens verbunden waren, bedarf kaum der Erwähnung.

Wichtig ist die Anordnung der Schrauben, die man auch bei spätern Bauten ohne wesentliche Aenderung beibehalten hat. Ueber den obern Boden treten durch kräftige Verstrebungen unterstützt an jedem Ende eines einzelnen Kastens drei eichene Balken von 9½ Zoll im Gevierten vor, so dafs die zwei darauf liegenden gufseisernen Scheiben mit ihren Oeffnungen sich nahe lothrecht über dem äufsern Rande des Kastens befinden. Solcher Scheiben sind aber jedesmal zwei neben einander gelegt, nämlich eine zwischen den ersten und zweiten und die andere zwischen den zweiten und dritten Balken, so dafs je zwei Schrauben durch die drei Balken hindurchgreifen. Eine Schraube kann nämlich nur so lange gebraucht werden, bis sie nahe ausgelaufen, oder die Mutter bis gegen ihr oberes Ende getreten ist. Damit alsdann die weitere Senkung vorgenommen werden kann, mufs eine zweite vorgerichtet sein, an welche man den Kasten hängt.

Die Schrauben, aus Eisen bestehend, halten 3 Zoll im Durchmesser und sind, wie Fig. 272 zeigt, 8 Fufs lang, die Muttern aus Glockenmetall sind in den untern Flächen flach sphärisch und zwar convex abgedreht, eben so auch die gufseisernen Platten, auf denen sie ruhn, damit die Schrauben sich jederzeit nach der Richtung des

Zuges einstellen können. Die Schrauben sind an den untern Enden mit Oesen versehn, woran durch Schraubenbolzen gabelförmige Hängeeisen befestigt sind, die abwärts wieder solche umfassen, und so fort, so dafs sich aus diesen eine Kette bildet, die aus Gliedern von 6 Fufs Länge besteht. So oft eine Schraube ausgelaufen, und wieder zurückgedreht ist, wird ein neues Glied in die Kette eingeschaltet. Die Kette greift unten durch einen starken Bügel, der an die Seitenwand des Kastens angeniethet ist, wie Fig. 272*b* zeigt.

Um die sämmtlichen sechszehn Schraubenmuttern gleichmäfsig zu bewegen, an denen die vier mit einander verbundenen Kasten hängen, sind alle Muttern übereinstimmend mit Zähnen versehn, in welche sowol in der einen Richtung wie in den andern Sperrkegel eingreifen, die an eisernen Hebeln, gleichsam Schraubenschlüsseln, von 6 Fufs Länge befestigt sind. Die Hebel werden an jeder Seite des Pfeilers durch Eisenstangen unter sich verbunden (Fig. 270*c*), und wie man diese anzieht, so bewegen sich alle Muttern um eine gleiche Anzahl von Zähnen, oder der ganze Kasten senkt sich auf einer Seite gleich tief. Indem aber auf der andern Seite die Bewegung nach demselben Zurufe erfolgt, so tritt auch hier die gleichmäfsige Senkung ein.

Vor der Versenkung jedes Kastens waren bereits die Anfänge der verschiedenen Schachte angeniethet. Die Fördeschachte, deren Stelle weiter aufwärts das Mauerwerk vertrat, reichten nur bis zu mäfsiger Höhe herauf, die Einsteigeschachte mufsten dagegen bei tieferem Herabgehn des Kastens immer verlängert werden, weil sie an den obern Enden die Luftschleusen tragen sollten.

Die mit einander verbundenen Kasten mufsten so schwer sein, dafs sie versanken, doch durften sie nicht die Schrauben zu stark belasten. Letzteres war am meisten während der Zeit zu besorgen, dafs die Kasten über Wasser schwebten. Sie wogen alsdann zusammen 2900 Centner. Beim weitern Eintauchen verloren sie an ihrem Gewichte, denn man konnte alsdann, indem die Luftpumpen in Thätigkeit gesetzt wurden, das Wasser aus den Kasten verdrängen und dadurch den Auftrieb wesentlich verstärken, während die Uebermaurung, soweit es thunlich war, in das Wasser eintauchte.

Ursprünglich war es Absicht gewesen, und bei dem ersten Pfeiler geschah dieses auch wirklich, die Uebermaurung nur in einer gewissen Höhe beginnen zu lassen, und zunächst über dem Kasten

eine Bétonschüttung anzubringen, die von hölzernen Wänden umschlossen war. Man fand diese Vorsicht aber bald entbehrlich, und stellte das Mauerwerk im Innern aus Bruchsteinen und im Aeufsern aus roh bearbeiteten Werkstücken schon unmittelbar auf die Kasten, indem man aber die Seitenflächen nach innen ein wenig zurückzog, so wurde das Versenken merklich erleichtert.

Die Baggermaschine war im Wesentlichen dieselbe, die Régemortes schon beim Bau der Brücke zu Moulins benutzt hatte. Je zwei derselben wurden durch eine Dampfmaschine von 12 Pferdekräften getrieben. Um den untern Trommeln der Baggerketten eine sichere Haltung zu geben, und um sie nach beendigter Versenkung des Pfeilers wieder ausheben zu können, so sind dieselben an Rahmen befestigt, die man in gewissen Führungen des Schachtes tiefer herablassen oder heben kann, und die nur in Ketten hängen. Jeder Baggereimer fafst 1,6 Cubikfufs, und dieselben sind ungefähr 8 Fufs von einander entfernt. In jedem Kasten stehn vier Arbeiter, die den Kies von den Seitenwänden des Kastens in die Vertiefung hineinschaufeln, wo die Baggermaschine denselben fafst und hebt. Da die Geschwindigkeit der Kette nahe 4½ Zoll beträgt, so hätte man erwarten dürfen, dafs die vier Baggermaschinen in der Stunde etwa 10 Schachtruthen heben würden, der wirkliche Effect stellte sich aber wegen der vielfachen Unterbrechungen und da die Eimer sich keineswegs immer vollständig füllten, durchschnittlich nur etwa auf 3 Schachtruthen.

Die Baggermaschine war übrigens wie bei den vertikalen Leitern immer geschieht, so eingerichtet, dafs vor der Entleerung jedes Eimers die steil abfallende Rinne, worin der Kies in das zu seiner Aufnahme bestimmte Fahrzeug stürzt, bis unter den Eimer verlängert wird. In diesem Falle erfolgte das Vor- und Zurückschieben der Verlängerung durch einen besonders dazu angestellten Arbeiter.

Die Einsteige- oder Fahr-Schachte waren cylindrische Blechröhren von 3 Fufs Weite. Sie waren unten mit einem Ansatze versehn, gegen welchen eine Klappe sich luftdicht anschlofs. Dieselbe war in demjenigen Schacht, den man gerade benutzte, geöffnet, da der Verschlufs in der Schleuse statt fand, nur während der Verlängerung eines Schachtes, wobei die Schleuse abgehoben werden mufste, kam diese Klappe zur Wirksamkeit, und so lange der starke Ueberdruck im Innern statt fand, wurde sie durch diesen

geschlossen gehalten. In den Schachten befanden sich eiserne Leitern, die sich, wie die Figuren zeigen, bis durch die Schleusen hindurch fortsetzen. Auch die Einrichtung der Schleusen ergiebt sich aus den Zeichnungen. Sie sind über 6 Fuſs weit und zwischen den beiden Böden 8 Fuſs hoch. In den letzteren befinden sich die Einsteige-Oeffnungen, die durch starke Klappen luftdicht geschlossen werden. Bei dem groſsen Gewichte dieser Klappen war es aber nöthig, besondere Winden zu ihrem Anheben und sanften Herablassen anzubringen. Auſserdem waren Hähne angebracht, durch welche die Schleuse sowol mit der äuſsern Luft, als mit derjenigen im Kasten in Verbindung gesetzt werden konnte.

Um aus den Kasten beim Versenken das Wasser zu verdrängen und sie mit Luft zu füllen, waren sehr kräftige Luftpumpen vorgerichtet, die durch Dampfmaschinen in Bewegung gesetzt wurden und sich auf besondern Fahrzeugen befanden. Man hatte deren Leistungsfähigkeit nach dem muthmaaſslichen Bedürfniſs bestimmt, als die Besorgniſs angeregt wurde, der Verlust an Luft möchte sich vielleicht noch höher stellen, woher man überdieſs eine Hülfsmaschine hinzufügte, die durch eine Dampfmaschine von 25 Pferdekräften getrieben wurde. Sie pumpte in der Stunde etwa 13000 Cubikfuſs atmosphärischer Luft in den Kasten, doch verminderte sich dieses Volum in gröſserer Tiefe nach dem Mariotteschen Gesetze bis auf die Hälfte und sogar auf den dritten Theil. Man machte die Beobachtung, daſs diese Maschine allein genügte, um einen der beiden mittleren Pfeiler, die wegen ihrer geringeren Länge nur aus je drei Kasten bestanden, bis 27 Fuſs unter Wasser zu senken. Gewiſs war die Vorsicht in Betreff der doppelten Pumpen sehr wichtig, und trug wesentlich zum geregelten Fortgange des Baues bei, da bei jedem Zutritt des Wassers in den Kasten nicht nur eine Unterbrechung der Arbeit, sondern auch wegen der Auflockerung des Untergrundes die unangenehmsten Erfolge zu erwarten sind, das Versagen einer Pumpe aber wegen eingetretener Beschädigungen nie mit Sicherheit vermieden werden kann. Bei der erwähnten Hülfspumpe hatte man den Cylinder in einen Wasserkasten gelegt, dessen Inhalt durch steten Zufluſs fortwährend erneut wurde, um die Luft, die bei der starken Compression eine hohe Temperatur annahm, etwas abzukühlen, und dadurch den Aufenthalt im Kasten minder beschwerlich zu machen.

Nachdem die Kasten in sich verbunden und bis zu einer gewissen Höhe mit ihren Schachten versehn waren, hob man sie mittelst der Schrauben an, so daſs sie an diesen hingen und an denselben soweit herabgelassen werden konnten, daſs ihre Decken nur wenig über Wasser vorragten. Alsdann übermauerte man sie, und schloſs die Mauern an die Förderschachte scharf an, während rings um die Einsteigeschachte ein geringer Raum frei gelassen wurde, um diese später ausheben, und bei andern Kasten aufs Neue gebrauchen zu können. Die weitere Verlängerung des Förderschachtes wurde aber nur bis zur Höhe von 18 Fuſs über der Decke des Kastens fortgesetzt, indem der luftdichte Anschluſs des Mauerwerks hier dargestellt war, und weiter aufwärts das letztere seine Stelle vertreten muſste.

Auf solche Art wurde die Versenkung der Kasten so weit fortgesetzt, bis sie die Sohle des Strombettes erreichten. In einem Falle wich dieses sehr stark von der Horizontal-Ebene ab, indem es am vordern Kopfe 16, am hintern aber 24 Fuſs unter Wasser lag. Durch vorhergehende Baggerung muſste diese groſse Ungleichmäſsigkeit beseitigt werden.

Standen die Kasten eines Pfeilers endlich auf dem Grunde, so setzte man die Luftpumpen in Bewegung, und wenn diese das Wasser zurückgedrängt hatten, so stiegen vier und zwar jedesmal recht kräftige Arbeiter in jeden einzelnen Kasten, wo sie möglichst gleichmäſsig den Boden abstachen und ihn unter den Bagger-Schacht warfen. Bis zur Tiefe von einigen dreiſsig Fuſs verursachte der Luftdruck kaum eine merkliche Beschwerde, doch trat solche bei einigen Arbeitern weiter abwärts ein, woher sie durch Andre abgelöst werden muſsten. Aber selbst wenn der Druck auf drei Atmosphären stieg, zeigte sich in keinem Falle eine nachhaltige Störung der Gesundheit. Alle Arbeiter, welche durch andre abgelöst waren, meldeten sich bald wieder zum Eintritt bei einem neuen Pfeiler.

Die Versenkung des ersten Pfeilers nahm 85 Tage in Anspruch, da hierbei noch vielfache Unterbrechungen eintraten, die des zweiten 34 Tage, die des dritten 26 und die des vierten nur 22 Tage. Wenn die Arbeit in vollem Gange war, so sank der Pfeiler im Sandboden Anfangs in der Stunde bis 4 Zoll herab, bei der gröſsten Tiefe aber nur noch 1 Zoll, durchschnittlich nahe 3 Zoll. Bei grobem Kiese war das Eindringen mäſsiger. Die ganze ausgehobene

Sand- und Kies-Masse stellte sich etwa auf das 1½fache von dem Volum des Pfeilers und des Kastens.

Ueber die Ausfüllung der bis zur beabsichtigten Tiefe versenkten Kasten mit Cement oder Béton wird in der folgenden Beschreibung ähnlicher Fundirungen die Rede sein, da in Bezug auf die Rheinbrücke nähere Mittheilungen hierüber nicht veröffentlicht sind.

Dieselbe Fundirungsart, die man bei der Kehler Brücke gewählt hatte, wurde mit wenigen Abänderungen auch beim Bau der Eisenbahnbrücke über den Pregel in Königsberg angewendet. Mehrfache Erfahrungen, die man in diesem Falle machte, sind so wichtig, daſs ihre Mittheilung nicht umgangen werden darf*).

Um die Ostbahn mit der Bahn von Königsberg nach Pillau in Verbindung zu setzen, muſste der Pregel überbrückt werden und dieses geschah, wie es für das Interesse der Bahn am günstigsten erschien, auch in fortificatorischer Beziehung gewünscht wurde, unmittelbar neben dem Bahnhofe der Ostbahn, also am untern Ende der Stadt, so daſs alle einkommenden und ausgehenden Seeschiffe gezwungen sind, die Drehbrücke zu passiren. Der Pfeiler, worauf diese ruht, liegt nahe am südlichen oder linken Ufer. Die Durchlaſsöffnung ist 47 Fuſs weit, die Breite des anschlieſsenden Strompfeilers miſst 13 Fuſs, und die Entfernung desselben vom rechten Ufer, die durch eiserne Polygonal-Träger überspannt ist, 195 Fuſs. Das Strombette besteht, wie die anschlieſsenden und sich weit ausdehnenden niedrigen Ufer bis zu groſser Tiefe, aus sehr lockern, schlammigen Ablagerungen. Eine 8 Fuſs mächtige Kiesschicht, die auf reinem Sande aufliegt, wurde erst 50 Fuſs unter dem mittleren Wasserstande angetroffen, während die Wassertiefe hier 28 bis 30 Fuſs beträgt und nur unmittelbar neben den Ufern sich etwas vermindert.

Unter diesen sehr ungünstigen Local-Verhältnissen schien es gerathen, den Strompfeiler auf eine zusammenhängende und möglichst weit ausgedehnte Fundirung zu stellen, woher man die bei der Kehler Brücke gewählte Methode zum Muster nahm. Von der Zerlegung des Kastens in drei oder vier kleinere, die sich bereits als entbehrlich herausgestellt hatte, wurde abgesehn. Man wählte

*) Erbkam's Zeitschrift für Bauwesen. 1866. Seite 518.

daher einen einzigen Kasten aus Eisenblech, der 47 Fuſs lang, 17 Fuſs breit und 9 Fuſs hoch war. Die Blechstärke maaſs 4¼ Linien. Die Decke wurde in Abständen von 3¼ Fuſs durch Querträger von 2 Fuſs Höhe unterstützt, und diese waren in gleichen Entfernungen durch Längsträger mit einander verbunden, deren Höhe, soweit nicht eine besondere Verstärkung nöthig war, nur 10 Zoll betrug. Die Seitenwände schlossen sich an Consolen an, die am Fuſse der Wände scharf ausliefen, oben aber 3¼ Fuſs breit, und auſserdem nicht nur an den aufgehenden Rändern, sondern auch an jeder Seitenfläche mit je drei horizontalen Eckeisen versehn waren. Sogleich nach der Zusammenfügung des Kastens wurden zwischen je zwei Consolen passende Stücke Eichenholz auf die untern Eckeisen gelegt und darüber eine Maurung ausgeführt, deren Schichten aus der horizontalen Richtung bald in eine schwache Wölbung übergingen, damit die oberen Eckeisen gleichfalls zum Tragen kämen. In dieser Art wurden die Nischen zwischen den Consolen vollständig gefüllt. Auſserdem überspannte man die quadratischen Felder zwischen den Trägern der Decke mit flachen Kappen. Dieses Mauerwerk, welches den innern Raum nicht beengte, lieſs sich im leeren und feststehenden Kasten unbedingt besser ausführen, als nach dem vollständigen Versenken, auſserdem aber trug es auch zur Vermehrung der Luftdichtigkeit des Kastens bei.

Die auf eingerammten Pfählen ruhende Rüstung stellte wieder zwei Etagen dar, von denen die untere, die nur 4 Fuſs über Wasser lag, als eigentliche Baurüstung zur Zusammensetzung des Kastens diente, und daher mit einer 50 Fuſs langen und 19 Fuſs breiten Oeffnung versehn war, während die obere die Schrauben-Vorrichtungen zum Herablassen des Kastens und die Geleise für den Laufkrahn trug. Sie stellte gleichfalls eine ziemlich freie Oeffnung dar, durch welche mittelst des Krahnes die Maurermaterialien, so wie die Luftschleusen u. d. g. in der ganzen Ausdehnung des Pfeilers bequem gehoben und versetzt werden konnten.

Die Vorrichtungen zum Heben und Senken des Kastens, waren genau dieselben wie bei der Kehler Brücke. Die Anzahl der Schrauben oder Hänge-Eisen betrug im Ganzen 32, und auch hier befanden sich immer je zwei nahe neben einander, nur war ihre Benutzung insofern abweichend, als man hier nicht nur die Hälfte derselben gleichzeitig in Wirksamkeit setzte, während die

andre Hälfte zur weiteren Versenkung vorbereitet wurde, vielmehr die Einrichtung getroffen war, dafs immer nur 1 oder höchstens 2 Schrauben auf einmal gelöst und neue Kettenglieder eingeschaltet werden durften. Die Senkung liefs sich nur auf 1 Fufs in der Stunde bringen, was beim geregelten Fortgange der Arbeit genügte.

In der Decke des Kastens befanden sich drei Oeffnungen, eine für den Baggerschacht und die beiden andern für die Einsteige-Schachte. Die erste Oeffnung war 5 Fufs weit, und durch einen Blechcylinder umgeben, der von der Decke bis 1 Fufs unter den untern Rand des Kastens herabreichte. Ueber dem Kasten setzte sich der Schacht nur in dem gemauerten Brunnen fort. Aus diesem traten vier eiserne Consolen zur Führung der Baggerleiter vor, die bis zu einer mäfsigen Höhe sich erhob. Damit man aber, wenn die Leiter etwa ausgenommen werden mufste, sie später wieder einstellen könnte, so wurden an das Mauerwerk zwei Blechrinnen befestigt, welche die Fortsetzung der Führung bildeten. Die Baggermaschine war dieselbe, wie bei der Kehler Brücke, bei ihrer Aufstellung war aber die Aenderung eingeführt, dafs sie nicht wie dort auf dem festen obern Boden, sondern auf dem Mauerwerk des Pfeilers ruhte, also die obere Trommel an allen Bewegungen desselben Theil nahm. Sie wurde wieder durch eine Locomobile getrieben.

Ueber die zwei Einsteigeschachte, von 3 Fufs Weite, ist nichts zu bemerken und eben so wenig über die Luftschleusen, deren Weiten 6 Fufs und deren Höhen 10 Fufs mafsen.

Nachdem der Kasten vollständig zusammengesetzt und zwischen den Consolen, wie in den Deckenfeldern ausgemauert war, wurde er etwas angehoben und der provisorische Boden darunter beseitigt. Nunmehr begann die Uebermaurung, indem man eine Werksteinschicht darüber in hydraulischem Mörtel versetzte. Das folgende Mauerwerk wurde nur aus hart gebrannten Ziegeln in Cement-Mörtel ausgeführt. Um jedoch das Gewicht desselben möglichst zu ermäfsigen, da die Rüstung ohnerachtet der langen Pfähle nicht unbedingt sicher erschien, so wurde der Pfeiler noch nicht voll ausgemauert, vielmehr nur rings umher, so wie um die drei Schachte mit 2½ oder 2 Fufs starken Mauern umgeben, wozu noch die drei Zwischenmauern neben den Schachten kamen. Es blieben also acht hohle Räume frei, deren Querschnitte nahe die Hälfte von dem des Pfeilers enthielten. Es mufs aber noch bemerkt werden, dafs an

den vier Ecken Maafsstäbe eingemauert wurden, mit welchen man die Schichten häufig verglich, um sich zu überzeugen, dafs sie überall gleich weit von der Decke des eisernen Kastens entfernt waren, derselbe also gleichmäfsig belastet wurde.

In gleichem Maafse, wie die Mauer an Höhe zunahm, wurde der Kasten tiefer herabgelassen. Am 5. October 1864 tauchte der untere Rand des Kastens in das Wasser ein, und am 26. October berührte er das Flufsbette, während die Schrauben und Hänge-Eisen einem Zuge von etwa 7000 Centner ausgesetzt waren. Indem nunmehr die Luft-Pumpe in Bewegung gesetzt und das Wasser aus dem Kasten entfernt wurde, so verminderte sich der Druck auf die Rüstung so sehr, dafs man zur Ausmaurung der bisher noch offen gelassenen Räume übergehn konnte. Von jetzt ab wurde auch die Bagger-Maschine in Thätigkeit gesetzt, indem 10 Mann im Kasten standen und aus dem ganzen umschlossenen Raume die Erde der Maschine zuwarfen. Die Arbeit wurde Tag und Nacht hindurch fortgesetzt, indem eine dreifache Ablösung eingerichtet war, die einzelnen Arbeiter blieben jedoch jedesmal nur 4 Stunden unten, indem sie zweimal am Tage herabgingen.

Die Versenkung erfolgte anfangs ganz regelmäfsig, und wenn der Kasten zuweilen an einer Seite stärkeren Widerstand fand, als an der andern, so nahm er doch bald wieder die horizontale Lage an, indem neben der zurückbleibenden Wand die Erde besonders tief ausgestochen und vor den Bagger geworfen wurde.

So war der Kasten am 5. November 11 Fufs tief in das Flufsbette eingedrungen, als die Locomotive ihren Dienst versagte, und eine geringe Ausbesserung erforderte, die in wenig Stunden beendigt sein konnte. Diese kurze Unterbrechung hatte aber sehr ernste Folgen, denn der Pfeiler fing bald an, sich zu senken. Man bemühte sich zwar die Hängeeisen möglichst schnell herabzulassen, doch ging dieses nicht rasch genug von statten, und da nunmehr ohne den Gegendruck der Luft und den Widerstand des Bodens der Pfeiler einen Zug von 15000 Centner ausübte, so sank derselbe plötzlich noch 6 Zoll tiefer. Wiewohl die Hängeeisen dabei unversehrt blieben, so neigten sich doch die beiderseitigen Rüstungen gegen einander, und erlitten einige Beschädigungen. Indem man mit dem Zurückdrehn der Schrauben fortfuhr und diese entlastete, so nahmen die Rüstungen später wieder ihre frühere Stellung ein.

Die Ursache dieses Unfalls war leicht erklärlich. Indem die Luft entwich, so drang unter den Wänden des Kastens das Wasser ein, und rifs zugleich den daselbst liegenden Sand und Schlamm mit sich, den es in den Kasten und vorzugsweise in den Baggerschacht führte. Eben so wie nach den obigen Mittheilungen Röhren dadurch mehrfach versenkt sind, dafs man unter ihren Rändern eine starke Strömung veranlafste, so war hier aus demselben Grunde derselbe Erfolg herbeigeführt.

Die gröfste Störung verursachte der in den Baggerschacht eingedrungene Sand. Die Maschine war so eingeklemmt, dafs selbst unter einem Zuge von 150 Centner die Kette nicht bewegt werden konnte. Man sah kein andres Mittel zur Beseitigung des Sandes, als dafs man denselben aufzulockern versuchte. Zu diesem Zwecke bohrte man vom Kasten aus Löcher in den Baggerschacht, und bemühte sich durch diese den Sand theilweise herauszuholen, indem man gekrümmte Eisenstangen hineinschob und umdrehte, doch war der Erfolg ganz unbedeutend, und eben so auch, wenn man durch diese Löcher Wasser hineingofs.

Es blieb nur übrig, durch tiefes Aufgraben den Schacht von unten zu entleeren. Zu diesem Zwecke mufste der ausgehobene Boden durch die Luftschleuse beseitigt werden. Dieses verursachte wenig Schwierigkeit, indem man auf passenden Gestellen zwölf Eimer in der Schleuse unterbringen und diese zusammen durchschleusen konnte.

Es wurde sonach die Versenkung des Kastens wieder begonnen und beim Aufgraben vorzugsweise dafür gesorgt, unter dem Baggerschacht eine recht tiefe Grube frei zu halten, in welche der Sand von oben herabstürzte. Dabei drang auch der Kasten etwas tiefer ein, und als endlich am 16. November der Schacht so weit geleert war, dafs die Maschine wieder in Thätigkeit gesetzt werden konnte, betrug die inzwischen erfolgte Senkung etwa 1½ Fufs, die Förderung durch die Schleusen hatte indessen nahe dreimal mehr gekostet, als durch die Baggermaschine.

Die Arbeit nahm hierauf während einiger Tage einen geregelten Fortgang, und der Kasten war bis 40 Fufs unter Wasser gesunken, als man am 20. November bemerkte, dafs die Luftpumpe nicht ge-

hörig wirkte, weil die Kolben undicht geworden waren. Eine Reparatur war nothwendig, die indessen, da Alles vorbereitet wurde, in wenig Stunden beendigt werden konnte. Man war indessen so vorsichtig, beim Einstellen des Pumpen-Betriebes die Baggermaschine sogleich auszuheben. Aufserdem drehte man auch, so schnell es geschehn konnte, die Schraubenmuttern zurück, indem man hierdurch das stofsweise Versinken des Kastens zu verhindern meinte. Dieses war jedoch nicht der Fall, derselbe sank vielmehr plötzlich 2¼ Fufs herab, und die Rüstung verschob und krümmte sich dabei sehr bedenklich.

Nachdem die Hänge-Eisen gesenkt waren, wurden die beiderseitigen Rüstungen so fest gegen einander verstrebt, wie die Benutzung des Laufkrahnes es irgend gestattete. Die Oberfläche des Pfeilers war in der Längenrichtung um 6 und in der Querrichtung um 2 Zoll aus der Wage gekommen, was sich durch kräftigeres Aufgraben neben den minder tief herabgesunkenen Wänden später ausgleichen liefs. Die hierbei eingetretene Versandung ergab sich aber viel stärker, als sie bei dem ersten Unfall gewesen war. Der Kasten hatte sich bis zur Decke mit Sand angefüllt, aufserdem war dieser aber auch in beide Einsteige-Schächte gestiegen und zwar in den einen 13, in den andern 3 Fufs hoch, während seine Höhe im Baggerschachte 12 Fufs betrug.

Man mufste mit den Ausgrabungen in einem der beiden ersten Schachte den Anfang machen, und aus diesem in den Kasten herabgehn, um denselben nach und nach zu entleeren. Beide Luftschleusen zusammen förderten in 24 Stunden 4 Schachtruthen, und bei der grofsen Schwierigkeit, welche die Aufräumung des Baggerschachtes verursacht haben würde, entschlofs man sich, von der weitern Benutzung desselben ganz abzusehn. Dieses empfahl sich um so mehr, als schon in der letzten Zeit des Betriebes der ausgestochene Boden viel compacter geworden war, so dafs man nur gröfsere Klumpen abstach, die von den Bagger-Eimern selten gefafst und gehoben wurden.

Inzwischen war starker Frost eingetreten, der jedoch die Arbeit in sofern nicht hinderte, als die Temperatur im Kasten sich dauernd auf + 10 Grade Réaumur erhielt. Nur beim Durchgange durch die Schleuse war der plötzliche Luftwechsel, der zugleich eine starke Nebelbildung veranlafste, sehr unangenehm und nach-

theilig. Die Seitenreibung gegen den Pfeiler wurde in der grofsen Tiefe so bedeutend, dafs die weitere Senkung nicht früher erfolgte, als bis man einige Zoll tief unter dem untern Rande des Kastens die Erde ausgegraben hatte.

Am 12. December erreichte man endlich 50 Fufs unter dem Wasserspiegel eine Kiesschicht. Die Mächtigkeit derselben betrug, wie eine neue Bohrung ergab, 8 Fufs und sie ruhte auf reinem Sande. Dieses schien ein hinreichend fester Baugrund zu sein, woher die Versenkung hiermit abschlofs. Der Boden unter dem Kasten wurde geebnet und alsdann übermauert. Die Steine, wie den Mörtel mufste man durch die Luftschleusen herablassen, und das Mauerwerk wurde ringförmig um die beiden Luftschleusen und zwar immer in der vollen Höhe vom Boden bis zur Decke so ausgeführt, dafs es sich nach und nach den Mittellinien der Schachte näherte, bis der letzte cylindrische Raum endlich geschlossen werden konnte und die Arbeiter in den Schacht traten. Nunmehr wurde der Betrieb der Luftpumpe eingestellt, die Luftschleusen abgenommen, und die eisernen Röhren, welche die Schachte bildeten, ausgehoben. Die Schachte selbst füllte man aber bis zum gewöhnlichen Wasserstande des Pregels mit Béton an. Um sich zu überzeugen, ob der Pfeiler hinreichende Tragfähigkeit besäfse, brachte man später eine Probe-Belastung von 9500 Centnern darauf, die dem gröfsten Gewichte entsprach, welches der Pfeiler zu tragen haben würde. Es war dabei keine Senkung zu bemerken.

Aus vorstehenden Mittheilungen ergiebt sich, dafs man in Betreff der Beschaffenheit des Baugrundes hier weit gröfsern Schwierigkeiten begegnete, als bei Fundirung der Kehler Brücke. Diese zeigten sich namentlich darin, dafs man der Rüstung nicht die nöthige Festigkeit geben konnte. Andrerseits handelte es sich hier nur um die Erbauung eines einzigen Pfeilers, und deshalb mochte man bei Beschaffung der nöthigen Apparate nicht zu weit gehn. Die beiden erwähnten sehr unangenehmen Störungen wären vermieden worden, wenn man für Ersatz der Pumpe und Locomobile gesorgt hätte, so dafs beim Schadhaftwerden einer Maschine augenblicklich eine andere für sie eintreten konnte. Auch die Baggermaschine, obwohl sie sich sehr zu empfehlen scheint, insofern sie ganz unabhängig von dem Luftdruck das Material von der Sohle der Baugrube aushebt, leistete in dem compakten Boden, den die

Eimer nicht durchschnitten, verhältnifsmäfsig nur wenig. Indem die Maschine aufserdem auch vielfachen Beschädigungen ausgesetzt war, und namentlich bei eintretenden Zufälligkeiten nur schwer wieder in Thätigkeit zu setzen war, so benutzte man sie schliefslich gar nicht mehr, und zwar gerade in der Zeit, als sie wegen der grofsen Förderungs-Höhe vorzugweise vortheilhaft gewesen wäre.

Obwohl bei Fundirung der Rheinbrücke, soviel bekannt, kein Unfall sich ereignet hatte, so zeigte sich dennoch schon hier, dafs die Methode mit manchen Mängeln verbunden sei, die sich wohl beseitigen liefsen. Als daher der Unternehmer Castor zwei Jahre später, im Winter von 1861 auf 1862 auf der Bahnlinie von Paris nach Dieppe die Brücke zu Argenteuil über die Seine ausführte, so wählte er eine wesentlich verschiedene Anordnung, die später auch vielfache Nachahmung gefunden hat. In der bereits erwähnten Schrift sagt Castor, dafs diese neuere Methode vor der früheren durch ihre Einfachheit, so wie durch gröfsere Wohlfeilheit und Sicherheit den Vorzug verdiene. *)

Die Brückenpfeiler wurden bei diesem Bau nicht mehr in ihrer ganzen Ausdehnung fundirt, sondern auf je zwei Säulen von 11½ Fufs Durchmesser gestellt, die über Wasser mit einander verbunden wurden. Die Versenkung jeder dieser Säulen geschah wieder unter starkem Luftdrucke, über dem Luftkasten stand aber nur ein einzelner ummauerter Schacht, der sich oben an die Luftschleuse anschlofs.

Jede Säule ist in ihrer ganzen Höhe von einem eisernen Mantel umschlossen, wie Fig. 271 zeigt. Castor wählte dazu Gufseisen, doch erklärt er schon in der Beschreibung, die er abfafste, nachdem er erst vier Säulen versenkt hatte, dafs die Anwendung des Eisenbleches sich hierzu mehr eigne, auch wohlfeiler sei. Die gufseisernen Ringe, die er übereinander legte, hielten bis zum Spiegel des Sommerwassers 11½ Fufs und weiter aufwärts 10 Fufs im Durchmesser, und waren 3¼ Fufs hoch. Die Flanschen, durch angegossene kleine Consolen unterstützt, traten nach innen vor. Auf ihren obern Flächen waren flache Rinnen angebracht, in welche man Ringe von vulkanisirtem Kautschuk legte, worauf sie durch je vierzig Schrau-

---

*) Verschiedene interessante Mittheilungen hierüber findet man auch in Oppermann's *nouvelles annales de construction*. Januar 1864.

benbolzen mit einander verbunden wurden. Der untere Ring, der in den Boden eindrang, war am untern Ende mit einer auswärts zugeschärften Schneide versehn. Die Wandstärken dieser jedesmal in einem Stück gegossenen Ringe maſsen, jenachdem sie mehr oder weniger zufälligen Stöſsen ausgesetzt waren, $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll.

Der untere Ring trägt nicht allein die darauf gestellten folgenden Ringe, sondern auſserdem eine durchbrochene Kuppel oder ein kegelförmiges Gitter, das den untern Arbeitsraum überdeckt und auf dem das darüber aufgeführte Mauerwerk ruht, wie Fig. 271 *a* zeigt. Dieses Gitterwerk besteht gleichfalls aus Guſseisen. Seine Höhe miſst etwa $6\frac{1}{4}$ Fuſs. Die Stäbe, deren Anzahl in der untern Hälfte noch einmal so groſs, als in der obern ist, werden in ihrer halben Höhe durch einen starken Ring unterstützt, der auswärts vortritt, und eben so wie der obere Ring ein sicheres Auflager dem Mauerwerk bietet, damit dieses nicht etwa, indem es von der Kegelfläche herabgleitet, einen zu heftigen Druck gegen den äuſsern Mantel ausübt. Wie die Figur zeigt, wird die in Rede stehende durchbrochene Kuppel *) mit bearbeiteten Werkstücken in hydraulischem Mörtel ummauert, der hintere Raum aber mit Béton ausgefüllt.

Mit der Erbauung des Gerüstes wurde der Anfang gemacht. Dasselbe stellte wieder zwei Böden dar, von denen der eine 9 Fuſs, der andre 27 Fuſs über Wasser lag. Der untere dient zur Anfuhr und Ablagerung der Materialien, wie auch zum Befestigen der Führungen, zwischen denen man die Säule herabgleiten läſst. Der obere Boden, an welchen man in gleicher Art wie bei der Kehler Brücke, nach den mitgetheilten Zeichnungen jedoch nur an vier Hänge-Eisen und Schrauben die Säule aufhängt, trägt die Eisenbahn eines Laufkrahnes. Mit dem letztern werden die einzelnen Ringe, so wie auch die Luftschleuse beigefahren und während ihrer Befestigung gehalten. Zugleich dient der obere Boden auch zur Führung der Säule, bis diese sich hinreichend fest in den Boden eingestellt hat.

Ueber die Oeffnung im untern Boden der Rüstung werden zwei starke Balken gelegt, hierauf der untere mit der Schneide versehene Ring gestellt, die durchbrochene Kuppel darauf befestigt, wie auch der nächste äuſsere Ring. Der dazwischen befindliche Raum wird

*) Man nannte dieselbe Crinoline, und diese Benennung ist ziemlich allgemein für diese Construction eingeführt.

alsdann, wie erwähnt, ausgemauert, der zweite Ring aufgebracht, die Ummaurung und Anfüllung mit Béton fortgesetzt, und eben so auch der dritte Ring und zugleich der Deckel, der die Kuppel schliefst. Nunmehr hebt man mittelst der Schrauben diesen ganzen Theil der Säule etwas an, damit die Balken fortgezogen werden können, und läfst ihn soweit herab, dafs seine Verlängerung bequem vom untern Boden aus erfolgen kann.

Der Schacht, durch welchen die Arbeiter hinabsteigen, ist 3½ Fufs weit, er wird aber nicht durch eine eiserne Röhre eingeschlossen, vielmehr nur durch hölzerne Stäbe, die wie in einem Fasse sich an einander lehnen und durch eiserne Ringe im Innern in ihrer Lage gehalten werden. Den Raum zwischen ihnen und der äufsern Wandung füllte man mit Béton an und liefs die Säule nach Maafsgabe dieser Erhöhung tiefer herab, bis sie die Sohle des Flufsbettes, das etwa 5 Fufs unter Wasser lag, erreichte.

In der Tiefe von 15 Fufs unter Wasser traf man schon festeren Boden an, in welchen die Säulen sehr schwer eindrangen, und solchen Widerstand fanden, dafs man unbedenklich die Luftschleuse abheben und durch Aufsetzen neuer Ringe die Säule erhöhen konnte. Der Bau wurde in der Weise ausgeführt, dafs die beiden neben einander stehenden Säulen, die einen Pfeiler darstellen sollten, gleichzeitig in Angriff genommen wurden, und der Rollkrahn die Luftschleuse abwechselnd auf die eine und die andre stellte.

Die Luftschleuse war eigenthümlich eingerichtet. Sie besteht, wie Fig. 271 *b* zeigt, aus zwei concentrischen Cylindern von Eisenblech. Der innere 4½ Fufs weit und 7¼ Fufs hoch steht in offener Verbindung mit dem Schacht, in ihm findet daher dauernd der starke Luftdruck statt. Der äufsere Cylinder dagegen, der 1 Fufs niedriger ist, hält 10¼ Fufs im Durchmesser. Es bildet sich also zwischen beiden ein ringförmiger Raum von nahe 3 Fufs Breite, und dieser ist in diametraler Richtung durch zwei Wandungen luftdicht abgeschlossen. Jede Hälfte desselben bildet eine Luftschleuse, die man durch je zwei Hähne beliebig mit der comprimirten Luft des Schachtes füllen, oder dieselbe auslassen und den atmosphärischen Druck darin darstellen kann. Die Zugänge zu den Schleusen bilden nicht Klappen im Boden und der Decke, sondern Thüren in den Seitenwänden, und zwar stehen die beiden Thüren sich gegenüber. Eine derselben ist in der Figur sichtbar. Sie sind 25 Zoll

hoch, 18 Zoll breit. Man kann also ohne Schwierigkeit hindurchsteigen. Um den luftdichten Schlufs darzustellen, sind die starken eisernen Zargen mit einem Kautschuk-Bande überdeckt.

Jede Luftschleuse kann bei ihrer grofsen Ausdehnung eine bedeutende Quantität des geförderten Materials fassen, welches, nachdem es darin angesammelt ist, auf einmal durchgeschleust wird. Um dieses Material aber von der Sohle des Senkkastens bis zur Schleuse zu heben, ist die in der Figur angedeutete Anordnung getroffen. Auf der Decke des äufsern Cylinders liegt nämlich eine kleine Dampfmaschine von einer Pferdekraft, zu welcher der Dampf von der andern Maschine, welche die Luftpumpen treibt, in einem flexibeln Rohre zugeführt wird. Die Maschine dreht die Achse eines Schwungrades und von dieser überträgt sich die Bewegung unter Verminderung der Geschwindigkeit bis auf ein Fünftel, auf eine andre Achse, die durch eine Stopfbüchse in den innern Cylinder, also über den Schacht geführt ist. Hier befindet sich eine Riemscheibe, und eine zweite solche ist an der Winde angebracht, welche die gefüllten Eimer hebt. Der Riemen, der beide verbindet, ist jedoch so lang, dafs er sich selbst überlassen die Bewegung nicht der Winde mittheilt. Dieses geschieht erst, wenn er durch Andrücken einer dritten Scheibe mittelst eines Hebels in Spannung versetzt wird. Aus der Figur ergiebt sich diese Anordnung.

An der Decke des mittlern Cylinders, der stets dem vollen Luftdrucke ausgesetzt ist, befindet sich sowol ein Manometer, als auch ein Sicherheitsventil, welches in der Art belastet wird, dafs der Druck nicht bedeutend höher gesteigert werden kann, als zum Zurückdrängen des Wassers erforderlich ist.

Das Verfahren beim Ausschachten ist nun dieses: je fünf Arbeiter, die nach 4 Stunden abgelöst werden, befinden sich in dem Raume, der mit comprimirter Luft gefüllt ist. Drei derselben stehn im Luftkasten, und graben den Boden auf, den sie in den Eimer werfen, der etwa ¼ Cubikfufs fafst. Der vierte Arbeiter steht oben im innern Cylinder, und setzt auf den Zuruf der Gräber die Winde in Thätigkeit. Sobald der Eimer aber hinreichend hoch gehoben ist, so stürzt er den Inhalt des Eimers in diejenige Luftschleuse, die gerade gefüllt werden soll. Hierauf läfst er den leeren Eimer herab, indem er mittelst des Hebels, der hierbei als Bremse wirkt, seine Bewegung mäfsigt. Der fünfte Arbeiter endlich befindet sich in der

Luftschleuse, und wirft die Erde nach beiden Seiten. Unter günstigen Umständen wird in 4 Arbeitsstunden eine Schleuse gefüllt, ihr Inhalt mifst ziemlich genau 1 Schachtruthe, doch bemerkt Castor, dafs zuweilen in derselben Zeit nahe 200 Cubikfufs gefördert werden.

Sobald die Schleuse gefüllt ist, wird die innere Thüre geschlossen, die Luft aus der Kammer gelassen und die äufsere Thüre geöffnet, durch welche man die Erde auswirft. Während der Anfüllung der einen Schleuse, kann die andere zum Ein- und Ausgehn benutzt werden, mit der Anfüllung der letzteren wird auch sogleich der Anfang gemacht, wie jene gefüllt ist.

Indem der zu durchfahrende Boden grofsentheils aus zähem blauen Thon bestand, worin jedoch vielfach Kies und gröberes Gerölle abgelagert war, und in der Tiefe in Mergel überging, so ereignete es sich häufig, dafs das Wasser, welches sich am Boden ansammelte, durch den Luftdruck nicht zurückgedrängt werden konnte. In diesem Falle benutzte man einen Heber, der durch eine der Luftschleusen in das äufsere Wasser geführt war, während sein längerer Arm in einem Schlauch bestand, der bis zur Sohle herabreichte. Sobald der Hahn am Ende des letzteren geöffnet wurde, strömte das Wasser in Folge des starken Luftdruckes aufwärts. Genügte der letztere aber nicht, so brauchte man nur den Schlauch momentan aufzuheben, so dafs er etwas Luft schöpfte, alsdann war das Gewicht des Inhaltes so sehr gemäfsigt, dafs ein starker Strahl ausflofs. Es wurde also von demselben Hülfsmittel hier wieder Anwendung gemacht, welches Triger schon benutzt hatte (§. 9).

Wenn man endlich eine Erdschicht erreicht hatte, die hinreichende Tragfähigkeit besafs, so wurde der Boden im Innern des Kastens geebnet, darüber eine 8 bis 10 Zoll hohe Lage Béton ausgebreitet, und diese mit einer eben so starken Mörtelschicht aus reinem Portland-Cement überdeckt. Besonders kam es darauf an, den letztern recht fest gegen die Wandungen zu verstreichen. Eine dritte Schicht reinen Cementes füllte alsdann den Raum bis zum obern Rande des untern Ringes an. In diese drei Schichten stellte man aber vorher eine Anzahl 2 Zoll weiter und 3 Fufs langer, an beiden Enden offener eiserner Röhren ein, welche bis zum Erhärten des Mörtels sowol der Luft, wie dem Wasser den Durchgang gestattete, falls der Druck auf beiden Seiten verschieden wäre, und

die sonach das Durchziehn des Wassers durch den noch weichen Mörtel verhinderten. War letzterer endlich erhärtet, so füllte man diese Röhren mit steifem Mörtel. Hierauf wurde die Anfüllung mit Béton bis zur Kappe des kegelförmigen Raumes fortgesetzt. Nunmehr konnte man den Schacht mit der atmosphärischen Luft in Verbindung setzen. Die Luftschleuse wurde also beseitigt und der Schacht im untern Theile mit Béton gefüllt und bis über Wasser ausgemauert.

Dieses Verfahren zur Versenkung der Fundamente und zwar unter Beibehaltung der Umschliefsung durch eiserne Cylinder und der Ueberdeckung des untern Raumes durch den gitterförmig construirten Kegel, der in den Schacht übergeht, ist mit manchen Modificationen in neuerer Zeit vielfach in Anwendung gekommen. So sind die Pfeiler der neuen Eisenbahn-Brücke über die Oder bei Stettin in dieser Weise fundirt, und so auch die der Rheinbrücke bei Hamm neben Düsseldorf. Man hat dabei indessen statt des Gufseisens, grofsentheils Verbindungen aus Blech gewählt, wie dieses schon Castor empfahl.

Nichts desto weniger ist man auch in neuster Zeit zuweilen wieder auf die ältere Methode zurückgekommen, wonach man das Fundament im Zusammenhange über die ganze Grundfläche des Pfeilers ausdehnte. Dieses ist namentlich im Jahre 1869 beim Bau der Eisenbahnbrücke über die Elbe bei Hämerten ohnfern Stendal geschehn. Unter Berücksichtigung früherer Erfahrungen wurden jedoch manche sehr passende Aenderungen hierbei eingeführt, deren Mittheilung um so wichtiger sein dürfte, als der Baudirector der Berlin-Hannoverschen Eisenbahn Herr Stute mir auf meinen Wunsch nicht nur die betreffenden Bauzeichnungen zu vorliegendem Zwecke zur Verfügung stellte, sondern mich auch von manchen Einzelheiten der Ausführung in Kenntnifs setzte, die in den vorstehenden Beschreibungen unberührt geblieben sind.

Die Brücke, welche zugleich Strom- und Fluthbrücke ist und einen grofsen Theil des Elb-Thales überspannt, hat neunzehn Oeffnungen von verschiedenen Weiten, die mit Ausnahme der beiden von einer zweiflügeligen Drehbrücke geschlossen, sämmtlich mit Polygonal-Trägern überspannt sind. Vom linken oder dem westlichen Ufer beginnend sind die ersten acht Oeffnungen 100 Fufs weit, alsdann folgt eine von 120 Fufs Weite, darauf vier von 201 Fufs und

auf diese die beiden, welche die Drehbrücke überspannt und deren Weiten 42 Fuſs messen. Die nächste ist wieder 201 Fuſs, und die letzten drei sind 120 Fuſs weit. Die sechs Pfeiler zwischen der zehnten und sechszehnten Oeffnung, welche in dem eigentlichen Fluſsbette stehn, sind in Blechkasten und unter Anwendung des Luftdruckes 28 bis 36½ Fuſs unter dem niedrigen Sommerwasserstande gegründet. Die Wassertiefe in der Brückenlinie maaſs bei diesem Wasserstande im Maximum 5 Fuſs. Der Boden bestand zunächst aus Sand und Kies, worin aber möglicher Weise starke Vertiefungen eintreten können, in gröſserer Tiefe fand sich fester Thon, der stellenweise in compacten Mergel überging.

Die Rüstungen, die durch Arbeitsbrücken mit dem einen oder dem andern Ufer verbunden waren, hatte man beim Beginn des Baues ungefähr nach dem Muster der Kehler Brücke angeordnet. Es waren darin wieder zwei über einander befindliche Böden angebracht, von denen im untern eine Oeffnung freigelassen war, durch welche der ganze Kasten versenkt werden konnte, während die ähnliche Oeffnung im obern, durch welche mittelst des Laufkrahnes die gröſsern und schwerern Theile des Senk-Apparates gehoben und herabgelassen wurden, in Abständen von 15 Fuſs durch Balken überspannt war, welche namentlich zur sichern Unterstützung der Schrauben dienten, an denen der Kasten hing. Die Muttern dieser Schrauben ruhten aber nicht auf übergekragten Querbalken, sondern auf je zwei Längsbalken, die theils von starken Streben und theils von den erwähnten übergreifenden Balken getragen wurden.

Indem die Schrauben am stärksten belastet waren, wenn der vollständig zusammengesetzte und sowol in den Wänden, wie auch in der Decke bereits ausgemauerte Kasten von dem untern Boden abgehoben und bis zum Wasser herabgelassen wurde, während dieser Zeit aber die ganze Oeffnung im untern Boden frei bleiben muſste, also hier keine gegenseitige Absteifung angebracht werden durfte, so führte man später die Aenderung ein, daſs der Kasten nicht über dem untern Boden, sondern auf darunter gestellten Prahmen zusammengesetzt und ausgemauert wurde, wodurch es möglich war, der ganzen Rüstung gröſsere Festigkeit zu geben.

Eine andere Abweichung gegen die Rüstung der Kehler Brücke bezog sich darauf, daſs der Laufkrahn nicht auf dem obern Boden

selbst, sondern auf darüber ausgeführten vielfach verstrebten doppelten Wänden stand, wodurch seine Höhe und sein Gewicht sich ansehnlich verminderten.

Der Luftkasten für einen gewöhnlichen Mittelpfeiler ist Fig. 273 auf Taf. XXIII in der Ansicht von oben dargestellt. Seine Länge mifst 49 Fufs 9 Zoll und seine Breite 16 Fufs, während der darauf ausgeführte Pfeiler bis über das höchste Wasser dieselben Dimensionen hat. Fig. 274 *b* zeigt in gröfserem Maafsstabe einen Querschnitt des Kastens durch die Mitte eines Schachtes, und Fig. 274 *a* sowol die obere Ansicht, wie auch den horizontalen Durchschnitt desjenigen Theiles, durch welchen der Querschnitt gelegt ist. Aus diesen Figuren ergiebt sich eine wesentliche und gewifs sehr zweckmäfsige Abweichung von der früher gewählten Constructionsart. Die Träger, welche die Decke unterstützen, liegen nämlich nicht unter, sondern über derselben, und hierdurch wird der wichtige Vortheil erreicht, dafs man die Felder dazwischen, die hier von oben frei sind, viel bequemer und sorgfältiger ausmauern kann, während die schliefsliche Ausmaurung des Kastens dadurch erleichtert wird, dafs derselbe eine ebene Decke hat.

Die Zusammensetzung des Kastens ergiebt sich mit hinreichender Deutlichkeit aus den Figuren, worin die durchschnittenen Bleche, so wie auch die aufgenietheten Eckeisen und sonstigen Schienen durch starke Linien bezeichnet sind. Die obere Ansicht des ganzen Kastens Fig. 273 stellt die Lage der Träger, so wie auch die zur Unterstützung der Wände angebrachten Consolen vollständig dar, und es darf in dieser Beziehung nur hinzugefügt werden, dafs die Bleche vergleichungsweise gegen sonstige Anordnungen nur mässige Stärken hatten. Diese betrugen nämlich nur $\frac{3}{16}$ Zoll, wodurch das ganze Gewicht des eisernen Kastens sich auf 413 Centner reducirte. Die Erfahrung zeigte auch, dafs dieses vollständig genügte. Man beachtete aber die Vorsicht, dafs man die Uebermaurung vorzugsweise durch die Träger unterstützte, indem man auf diese breite und feste Steinplatten legte. In Betreff der Wände, welche durch die zahlreichen Consolen verstärkt wurden, ging man aber von der richtigen Ansicht aus, dafs dieselben während des geregelten Fortganges der Arbeit nicht das volle Gewicht des Pfeilers zu tragen haben, weil dieses bis nach Ausmaurung des Kastens

durch den Auftrieb der darin befindlichen Luft, aufserdem aber auch durch die Seitenreibung des Pfeilers gegen den anschliefsenden Grund sehr gemäfsigt wird.

Indem die Wände des Kastens über die luftdichte Decke hinausreichten, so liefsen sich die Bügel, woran der Kasten hing, bequem mit jenen verbinden, und man brauchte damit nicht bis an den untern Rand herabzugehn. Diese Bügel bestanden aus zweizölligem Rundeisen, und ihre verbreiteten Enden umfafsten, wie Fig. 276 zeigt, die vortretenden Ränder der Wände, indem zur Verstärkung der letztern noch Zwischenbleche angeniethet waren.

Die Anzahl dieser Bügel und sonach auch die der Schrauben betrug, wie Fig. 273 zeigt, im Ganzen zwanzig, indem an jeder Seite sich fünf Paare befanden. Die Hängeeisen, welche die Ketten bildeten, wie auch die Schrauben, waren nach dem Muster der an der Kehler Brücke gebrauchten geformt und zusammengesetzt. Man machte jedoch hier die Erfahrung, dafs die gleichzeitige Drehung der Schraubenmuttern durch die mit einander verbundenen langen Schraubenschlüssel keineswegs ganz sicher sei, was vielleicht von der Drehung der Ketten herrührte, und dafs man daher die sämmtlichen Ketten stets sorgsam beobachten mufs, um sie möglichst gleichmäfsig zum Tragen zu bringen. Beim Versenken des Kastens liefs man denselben aber nicht abwechselnd an der einen und der andern Schraube jedes Paares hängen, vielmehr wurden gleichzeitig die sämmtlichen Schrauben aller Paare in Thätigkeit gesetzt, soweit einzelne Ketten nicht verlängert werden mufsten. Die Verlängerung der Kette erfolgte daher bald hier und bald dort, und man hatte dafür gesorgt, dafs gemeinhin dieses nur bei einer oder höchstens bei zweien zugleich geschah, aber unbedingt eine Schraube jedes Paares immer in Wirksamkeit blieb. Auf diese Weise hing der Kasten gewöhnlich an neunzehn, oder doch wenigstens an achtzehn Ketten. Diese Anordnung war aber keineswegs getroffen, um die Ketten möglichst zu entlasten, vielmehr hätte die Hälfte derselben den Kasten noch sicher getragen, aber es fehlte an dem nöthigen zuverlässigen Aufsichts-Personal, um das gleichzeitige Einziehn neuer Glieder an vielen Ketten zu überwachen. Das hier in Anwendung gebrachte Verfahren verhinderte daher die sonst nothwendig werdende längere Pause.

Aus der Decke des Kastens steigen drei Schachte von 3 Fufs

Weite empor. Das untere Ende von einem derselben ist in Fig. 274 sichtbar. Sie erhalten nicht gleich Anfangs die volle Höhe, werden vielmehr nach und nach verlängert, wie die Mauern des Pfeilers sich höher erheben. Jeder derselben trägt eine Luftschleuse. Der mittlere dient als Fahr- oder Einsteige-Schacht, die beiden äufsern als Förder-Schachte. Alle drei sind im Innern mit eisernen Leitern versehn, wie die Figur zeigt. Die einzelnen Theile der Schachtröhren bestehen aus $\frac{1}{4}$zölligen Blechen, sie sind 6 Fufs lang und sowol oben, wie unten durch eingeschobene und angeniethete Ringe aus Eckeisen verstärkt. Beim Aufbringen eines neuen Röhrentheiles werden Gummischeiben zwischen die Ringe gelegt und Schraubenbolzen hindurchgezogen.

Die Fahrschleuse, vom Bau der Königsberger Brücke übernommen, hielt $5\frac{1}{2}$ Fufs im Durchmesser und hatte die Höhe von 10 Fufs. Aufser den beiden Klappen an der Decke und im Boden, wodurch man ein- oder austrat, war sie nur mit den Hähnen zum Ein- und Auslassen der comprimirten Luft und mit der Winde-Vorrichtung zum Heben und Herablassen der Klappen versehn.

Wichtiger waren die Förderschleusen, von denen eine Fig. 275 im verticalen und horizontalen Durchschnitt dargestellt ist. Sie haben solche Einrichtung erhalten, dafs man darin mehr als eine halbe Schachtruthe ausgehobenen Bodens unterbringen und denselben leicht beseitigen kann, sobald die Verbindung mit der äufsern Luft dargestellt ist. Es mufs aber erwähnt werden, dafs Erfahrungen bei früheren ähnlichen Bauten bereits gezeigt hatten, wie das Versenken solcher Kasten nicht sowol durch die Beseitigung des ausgehobenen Bodens, als vielmehr durch den langsamen Fortgang der Uebermaurung verzögert wird. In letzter Beziehung läfst sich aber bei dem beschränkten Raume und der nothwendigen Sorgfalt in dieser Arbeit eine gröfsere Beschleunigung nicht einführen, und es ist daher entbehrlich, irgend welche Anordnungen zu treffen, wodurch die abgestochene Erde möglichst schnell fortgeschafft werden kann. Aus diesem Grunde wurde nicht nur von jener Baggermaschine abgesehn, deren Einführung, wie sich in Königsberg gezeigt hatte, bei unvorhergesehenen Zufälligkeiten überaus nachtheilig werden konnte, sondern es bedurfte auch keiner sonstigen kostspieligen und complicirten Einrichtungen zu diesem Zwecke, wodurch überdiefs der luftdichte Verschlufs gewissermaafsen bedroht wurde. Man

stellte sich also nur die Aufgabe, die Schleuse so einzurichten, dafs sie nicht früher mit der äufsern Luft in Verbindung gesetzt werden durfte, bis eine grofse Quantität Erde darin angesammelt war, und sonach das häufige Durchschleusen entbehrlich wurde.

Diese Schleuse, gleichfalls von cylindrischer Gestalt, erhielt hiernach die Weite von 8 Fufs und die Höhe von 7 Fufs. Der obere Eingang, dessen Lage in Fig. 275. *b* durch den punktirten Kreis angedeutet ist, befand sich seitwärts, der untere dagegen in der Mitte des Cylinders und des Schachtes. Der Raum der Schleuse zerlegte sich aber in zwei Seitenkammern und in den mittleren Gang, der zwischen jenen ungefähr diametral hindurchging. Den Abschlufs bildeten Blechwände von 3 Fufs Höhe, welche an ihren Enden gegen die cylindrische Wand geniethet und aufserdem durch je drei eiserne Haken von dieser gehalten wurden, damit sie bei der Füllung der Kammern mit Erde nicht etwa in den Gang gedrängt würden. Jede Kammer fafste, wenn sie ganz gefüllt war, 50 Cubikfufs, doch wurde darin gewöhnlich nur etwa $\frac{1}{4}$, oder in beide Kammern zusammen $\frac{1}{2}$ Schachtruthe eingebracht.

In dem mittleren Gange befand sich auf der einen Seite die Leiter, die zur obern Einsteige-Oeffnung führte, auf der andern dagegen die Winde-Vorrichtung, mittelst deren die obere, wie die untere Klappe gehoben und herabgelassen wurde. Zwei Thüren, in der Figur mit *C* bezeichnet, stellten die Verbindung mit den Kammern dar, aufserdem war daneben noch eine kleine Leiter angebracht, von welcher aus der Inhalt der Eimer über die Blechwand gestürzt werden konnte, sobald wegen höherer Füllung der Kammern die Thüren geschlossen werden mufsten.

Zum Entleeren der Kammern waren aufserdem in jeder Wand noch zwei Schütze *D* angebracht. Nach dem Ziehn derselben verbreitete sich das gehobene Material über beide Enden des Ganges, und hier befanden sich zwei Oeffnungen im Boden, mit luftdicht schliefsenden Klappen *E*, die vor dem Ziehn der Schütze aufgeschlagen wurden. Auf diese Art brauchte die Erde nicht weiter gehoben zu werden, sie wurde vielmehr nur durch die Schütz-Oeffnungen nach den Oeffnungen im Boden geschoben, von wo sie über stark geneigte Rinnen von selbst in die Prahme herabfiel.

Bevor die in den Kammern angesammelte Erde beseitigt werden kann, mufs die Verbindung mit dem Schachte aufgehoben, also die

Bodenklappe der Schleuse geschlossen werden, was mittelst der erwähnten Winde-Vorrichtung geschieht. Alsdann öffnet man einen der beiden Hähne *A*, durch welche die comprimirte Luft entweicht, und nunmehr öffnet sich die obere Einsteige-Oeffnung und die Schleuse wird dadurch bei Tage stark erleuchtet, während sie bisher nur das schwache Licht empfing, welches durch die starke Glaslinse drang, die in die obere Klappe eingesetzt ist. Es mufs hierbei noch bemerkt werden, dafs beide Einsteige-Klappen, wie auch die Klappen *E* durch Gummi-Ringe gedichtet sind, welche die Oeffnungen rings umgeben. Die beiden ersten Klappen, die ein bedeutendes Gewicht haben, werden durch die in der Figur dargestellte Winde-Vorrichtung gehoben und herabgelassen, indem der Haken an der Zugleine in einen oder den andern Ring gesteckt wird. Der Ring der obern Klappe befindet sich aber an einem abwärts gerichteten Arme, damit die Klappe vollständig geschlossen werden kann. Dieselbe mufs auch zunächst in dieser Lage festgehalten werden, bis sich ein starker Ueberdruck auf der untern Seite gebildet hat, der sie alsdann noch fester andrückt, als dieses durch die Winde möglich war.

Nachdem man beide Seiten-Kammern der Schleuse entleert hat, müssen die Rahmen, auf welche die Klappen *E* aufschlagen, sorgfältig gereinigt werden, damit sich hier der luftdichte Schlufs wieder darstellt, und wenn darauf auch die obere Klappe gehoben ist, wird mittelst der Hähne *B* die Verbindung mit dem Schachte dargestellt und die Schleuse mit comprimirter Luft gefüllt. Einer dieser Hähne, dessen Anordnung mit den Hähnen *A* im Wesentlichen übereinstimmt, ist Fig. 277 im vertikalen und horizontalen Durchschnitt dargestellt. Der Kegel, den man mittelst der Handhabe dreht, ist im untern Theile hohl und befindet sich über einer Oeffnnng in der Boden-Platte der Schleuse, der Raum im Kegel steht also fortwährend in Verbindung mit der Schachtröhre, und sobald man den Kegel dreht, so dafs die darin befindliche Seiten-Oeffnung gegen die kleine Ausflufs-Röhre tritt, so setzt sich diese Verbindung bis zur Schleuse fort.

In dem conischen Ansatze unter der Schleuse bemerkt man noch in Fig. 275 *a* die Zuleitungs-Röhre *F*. Durch diese tritt mittelst eines elastischen Schlauches aus den Luftpumpen die comprimirte Luft in den Schacht und in den Senkkasten. Sollten die

Pumpen momentan angehalten werden, so fällt sogleich die an der Ausmündung dieser Röhre angebrachte Klappe herab und verhindert das Austreten der Luft.

Es waren zwei Luftpumpen aufgestellt, von denen jede allein das Bedürfnifs befriedigen konnte, die eine arbeitete mit zwei Cylindern, die andere dagegen nur mit einem. Man bemerkte aber, dafs die letztere in starken Stöfsen die Luft zuführte, was nicht nur für die Arbeiter unangenehm war, sondern auch den ganzen Apparat zu gefährden schien, woher bei solcher Pumpe die Anbringung eines Windkessels erforderlich ist. Die eine wie die andre Pumpe wurde durch Dampfkraft in Betrieb gesetzt, doch war stets nur eine im Gange.

Nach dieser Beschreibung der ganzen Vorrichtung wäre noch über die Art der Benutzung derselben Einiges hinzuzufügen.

Mit dem Abstechen und Ausheben der Erde waren bei jedem Schacht sechs Mann beschäftigt. Vier derselben befanden sich im Kasten, gruben den Boden aus, warfen ihn in den Eimer und zogen diesen an der über eine Rolle geschlungenen Leine herauf, die in Fig. 275 *a* sichtbar ist. In der Schleuse stand der fünfte Mann, der den vollen Eimer entweder durch die Thüre oder über die Wand fort in eine Kammer verstürzte. Der sechste Mann befand sich endlich in einer der beiden Kammern und verbreitete darin das eingeworfene Material. Nach vier Stunden wurden diese Arbeiter durch andere abgelöst, sie traten aber an demselben Tage noch einmal während vier Stunden ein. Die Arbeit wurde ununterbrochen Tag und Nacht hindurch fortgesetzt, und es waren daher dreifache Ablösungen, also für beide Schachte zusammen sechs und dreizig Mann, erforderlich. Dieselben waren nicht auf Taglohn angestellt, wurden vielmehr für jeden Cubikfufs ausgebrachten Bodens bezahlt. In jeder Schicht von 4 Stunden konnte ohne besondere Anstrengung in jedem Schachte eine halbe Schachtruthe gefördert werden. Es liefs sich aber durchaus nicht bemerken, dafs diese Beschäftigung in der comprimirten Luft auf die Leute nachtheilig gewirkt hätte, die meisten derselben waren bei der Versenkung aller Pfeiler thätig.

Bei einem Besuche auf der Baustelle, während der Kasten freilich noch nicht besonders tief in den Boden eingedrungen war, bemerkte ich, dafs die comprimirte Luft das Wasser aus dem Sande so vollständig zurückgedrängt hatte, dafs beim Niederlegen auf den

Boden die Kleider gar nicht befeuchtet wurden. Man hat auch wiederholentlich wahrgenommen, daſs die eingepumpte Luft nicht nur unmittelbar am Rande des Kastens, sondern noch 20 bis 24 Fuſs davon entfernt in Blasen aufstieg.

Jede der benutzten Luftpumpen genügte mehr als hinreichend, um die Verluste zu decken, die durch den unvermeidlichen Mangel an dichtem Schluſs der vielfachen Fugen veranlaſst wurden, es muſs aber darauf hingewiesen werden, daſs die Fugen um so nachtheiliger sind, je höher sie liegen, weil der Druck auf der innern Seite durch den ganzen Schacht und bis in die Schleuse sehr nahe derselbe bleibt, der äuſsere dagegen unter Wasser bedeutend zunimmt, und am untern Rande des Kastens so groſs wie der innere wird, woher der Ueberdruck, der allein das Entweichen der Luft veranlaſst, hier aufhört.

Aus den Erfolgen, die bei manchen kurzen Unterbrechungen gesammelt waren, schloſs man, daſs der Kasten in der Zeit von einer halben Stunde sich mit Wasser vollständig füllen würde, falls die Pumpe so lange auſser Thätigkeit bliebe. Dieses geschah freilich nicht, wohl aber lieſs man zuweilen absichtlich mäſsige Quantitäten Wasser in den Kasten eindringen. Sobald man nämlich den Thonboden erreichte, wurde die Reibung so stark, daſs der Kasten ohnerachtet der Vertiefung durch Aufgraben und des Gewichtes der darauf ruhenden Mauermasse nicht herabsank. Das Graben wurde aber alsdann auch sehr schwierig, indem der Thon bei dem unvermeidlichen Zudringen des Wassers sich in Schlamm verwandelte. Besonders zeigten sich diese Uebelstände, als unter dem einen Pfeiler an einer Seite des Kastens die steil ansteigende Mergelschicht frei wurde. Um die Fundirung hinreichend tief herabzuführen, blieb alsdann kein andres Auskunftsmittel, als das bereits oben erwähnte, nämlich das Wasser unter dem Kasten in starke Strömung zu versetzen, und es hierdurch zur Beseitigung der Hemmnisse zu veranlassen, welche das Herabsinken des Kastens verhinderten. Dabei drang freilich eine Menge Kies mit hinein, der wieder ausgehoben werden muſste, aber der beabsichtigte Zweck wurde doch erreicht. Man bemerkte dabei, daſs die Masse des eintretenden Kieses geringer blieb, wenn die Strömung recht stark war, als wenn sie weniger kräftig und dafür längere Zeit hindurch unterhalten wurde. Man

öffnete daher plötzlich die Hähne, und schlofs dieselben wieder nach kurzer Zeit.

Was die Uebermaurung betrifft, so sollte dieselbe im Allgemeinen mit Bruchsteinen und einer Umschliefsung mit Werkstücken erfolgen. Die Felder bis zur Oberkante der Träger wurden auch in Bruchsteinen und gutem Cementmörtel ausgemauert, darüber legte man eine vollständige Schicht Werkstücke, und über dieser wurde rings umher die Verkleidung mit Läufen und Binden dargestellt. Im Innern sah man sich aber mehrfach gezwungen, statt der Bruchsteine, die von Magdeburg her bezogen wurden, aber oft nicht rechtzeitig ankamen, Ziegel zu verwenden. Auch während der Nacht liefs sich ohnerachtet der starken Beleuchtung das Bruchstein-Mauerwerk nicht in gehörigem Verbande ausführen und alsdann wurde die Verwendung der Ziegel gleichfalls nothwendig.

Indem die Schachtröhren, die durch Schraubenbolzen befestigt waren, später wieder herausgenommen und anderweit benutzt werden sollten, so durfte das Mauerwerk sich nicht unmittelbar an sie anschliefsen. Man richtete deshalb hölzerne Ringe von 2 Zoll Stärke vor, die man über das fertige Mauerwerk legte, und bei Erhöhung des letzteren weiter hob. Diese Vorsicht genügte indessen nicht, um das zufällige Hineinfallen des Mörtels zu verhindern, woher die Röhren noch mit Stroh umwunden wurden.

Wenn endlich die Versenkung in solche Tiefe erfolgt war, dafs eine Unterspülung nicht mehr besorgt werden konnte, man auch einen festen Baugrund erreicht hatte, so kam es darauf an, den Kasten möglichst dicht schliefsend in der Art auszufüllen, dafs die Füllung als Fortsetzung des Pfeilers angesehn werden durfte, und noch volle Sicherheit bot, wenn auch die Wände des Kastens durch Rost oder sonstige chemische Einwirkungen ihre Haltbarkeit später verlieren, oder vollständig zerstört werden sollten. Man überzeugte sich auch hier, dafs eine möglichst sorgfältige Ausmaurung am passendsten sei. Eine solche bedarf aber wieder eines festen Auflagers, und dieses ist in der Sohle des Kastens nicht leicht zu beschaffen. Schon der Sand und feine Kies ist in der Oberfläche sehr lose abgelagert, und noch mehr der Thon. Sobald aber später der Luftdruck aufhört und das Wasser freien Zutritt erhält, so ist einige Bewegung wieder unvermeidlich, und soweit der Kasten mit der Uebermaurung nicht durch die Reibung zurückgehalten wird,

so mufs er sich alsdann etwas senken, oder dieses ist noch später zu besorgen. Die Verhältnisse sind eigentlich dieselben, wie sie sich in aufgeschwemmtem Boden bei jeder gewöhnlichen Fundirung wiederholen. Wenn dabei auch keine wesentliche Gefahr für den ganzen Pfeiler zu besorgen ist, so empfiehlt es sich doch gewifs, einer solchen möglichst vorzubeugen. Meines Erachtens wäre es auch in diesem Falle am passendsten, die ganze frei gelegte Bodenfläche mit einem fest eingerammten Pflaster zu versehn, um die obern Erdschichten in eine recht geschlossene Ablagerung zu versetzen, und sie dadurch tragfähiger zu machen (vergl. §. 32).

Zuweilen hat man die Kasten mit Béton gefüllt, statt sie auszumauern, bei dem in Rede stehenden Bau ist dieses nicht geschehn, und zwar vorzugsweise deshalb, weil das Material am schnellsten herabgeschafft werden konnte, wenn Ziegel und Mörtel gewählt wurden. Die Ausmaurung wurde an beiden schmalen Seiten des Kastens begonnen und immer von der Sohle bis zur Decke heraufgeführt, um sie möglichst dicht an die letztere anzuschliefsen. Die Klappen unter den Schachten mufsten, sobald man einer solchen sich näherte, geschlossen und eingemauert werden, weil sie wegen ihrer gröfsern Ausdehnung sich nicht herausbringen liefsen. In der Nähe des mittleren Schachtes wurde das Mauerwerk in concentrischen Kreisen herum geführt und schliefslich auch erhöht, bis man den Schacht erreichte, und sonach der ganze Kasten gefüllt war. Nunmehr durften die Luftpumpen aufser Betrieb gesetzt, und die Luftschleusen beseitigt werden. Diejenigen Theile der Schachtröhren, die an dem Kasten selbst befestigt sind, und sich nicht lösen liefsen, wurden mit Béton gefüllt, alsdann die Schachte ausgepumpt, die einzelnen Röhren abgeschroben und ausgehoben und schliefslich die brunnenartigen Oeffnungen ausgemauert.

Inhalts-Nachweisung

der beiden Bände des ersten Theiles vom Handbuche der Wasserbaukunst.

(Die Römischen Zahlen bezeichnen den Band, die Arabischen die Seitenzahl.)



Ende des zweiten und letzten Bandes
vom ersten Theil.